

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TESIS

INFLUENCIA EN EL VALOR DEL CBR DE LA BASE PARA PAVIMENTO FLEXIBLE DE TRÁNSITO LIVIANO CON ADICIÓN DE AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO AL MATERIAL GRANULAR DE LAS CANTERAS CONDEBAMBA Y QUITASOL DE LA CIUDAD DE ABANCAY – APURÍMAC, 2019.

Presentado por:

BACH. FRAY JELSIN QUISPE SERRANO

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Abancay- Apurímac – Perú

2021

Tesis

Influencia en el valor del CBR de la base para pavimento flexible de tránsito liviano con adición de agregado de concreto reciclado al material granular de las canteras Condebamba y Quitasol de la ciudad de Abancay – Apurímac, 2019.

Línea de investigación:

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible

Asesor:

Mg. Calixto Cañari Otero



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA EN EL VALOR DEL CBR DE LA BASE PARA PAVIMENTO FLEXIBLE DE TRÁNSITO LIVIANO CON ADICIÓN DE AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO AL MATERIAL GRANULAR DE LAS CANTERAS CONDEBAMBA Y QUITASOL DE LA CIUDAD DE ABANCAY – APURÍMAC, 2019.

Presentado por el **BACH. FRAY JELSIN QUISPE SERRANO**, para optar el Título Profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Sustentando y aprobado el **17 de diciembre del 2021** ante el jurado:

Presidente: Mg. Sc. Ángel Maldonado Mendivil

Primer Miembro: PhD. Abbon Alex Vásquez Ramírez

Segundo Miembro: Ing. Holguer Cayo Baca

Asesor: Mg. Calixto Cañari Otero

Dedicatoria

A Dios por darme la vida, la salud y una hermosa familia.

A mis padres: Rosalfo Quispe Rayme y Gladys Yuly Serrano León, con mucho cariño, por el esfuerzo y perseverancia que dieron, pese a las adversidades de la vida.

A mis hermanos y amigos por su constante apoyo.

Agradecimiento

A Dios por darme salud y perseverancia.

A mis padres por su apoyo económico y moral.

A la Universidad Tecnológica de los Andes, alma máter de la educación universitaria de Apurímac, a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por sus cátedras en las diferentes especialidades.

A mi asesor Mg. Calixto Cañari Otero, al Ing. Óscar Alberto Morón Romero, al técnico Marcelino Daniel Huchallanqui Ayquipa y amigos por su conocimiento, esfuerzo, dedicación y apoyo moral para desarrollar el proyecto de investigación.

Índice de contenidos

Portada.....	i
Post Portada.....	ii
Página de jurados	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Acrónimos	xvi
Resumen	xvii
Abstract	xviii
Introducción.....	xix
Capítulo I.....	1
Planteamiento del problema	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Planteamiento del problema	4
1.2.1. Formulación de problemas	4
1.2.2. Problema general	4
1.2.3. Problemas específicos:.....	4
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos:.....	5
1.5. Delimitación de la investigación.....	6
1.5.1. Espacial	6
1.5.2. Temporal.....	6

1.5.3. Social.....	6
1.5.4. Conceptual.....	6
1.6. Viabilidad de la investigación.....	6
1.7. Limitaciones de la investigación	7
Capítulo II.....	8
Marco teórico.....	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.1.1. A nivel internacional.....	8
2.1.2. A nivel nacional.....	12
2.1.3. A nivel regional y local.	14
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Relación de Soporte California (CBR)	15
2.2.1.1. Procedimiento para determinar el valor de CBR de un material de cantera.	15
Ubicación de las canteras.....	15
Muestreo del material	15
Homogenizar el material en laboratorio	15
Ensayo de análisis granulométrico por tamizado.....	16
Ensayo de compactación Proctor modificado.	19
Ensayo de CBR en laboratorio.	23
2.2.1.2. Procedimiento para determinar el valor de CBR de un material de cantera adicionado con ACR.	29
Ubicar escombros de concreto.	29
Obtención del agregado de concreto reciclado (ACR).....	29
Muestreo de ACR.	29
Homogenizar el material.....	29
Establecer las proporciones de las adiciones de cantera natural y ACR.	29
Ensayo de Análisis granulométrico por tamizado	30

Ensayo de compactación Proctor modificado	31
Ensayo de CBR	31
2.2.2. Índice de Plasticidad.....	31
2.2.2.1. Procedimiento para determinar el Índice de plasticidad de la muestra de cantera.....	31
Ensayo de Límite Líquido	31
Límite plástico.....	34
Índice de plasticidad	35
2.2.2.2. Índice de plasticidad de la muestra de cantera con adición de ACR	35
2.2.3. Equivalente de Arena del material de cantera	36
Procedimiento para determinar el valor de equivalente de arena.....	36
Equivalente de arena del material de cantera más adición de ACR	39
2.2.4. Determinación de las proporciones óptimas	39
2.2.4.1. Requerimientos de CBR para base granular.....	39
2.2.4.2. Requerimientos para el agregado grueso	40
2.2.4.3. Requerimientos para el agregado fino.....	40
2.2.5. Procedimiento de la investigación	42
Fuente: Elaboración propia.....	42
2.3. Marco conceptual	43
Capítulo III.....	48
Metodología de investigación.....	48
3.1. Hipótesis.....	48
3.1.1. Hipótesis general	48
3.1.2. Hipótesis específicas	48
3.2. Método.....	49
3.3. Tipo de investigación	49
3.4. Nivel o alcance de la investigación	50

3.5.	Diseño de la investigación	50
3.6.	Operacionalización de variables	51
3.7.	Población, muestra y muestreo	53
3.8.	Técnicas e instrumentos	55
3.9.	Consideraciones éticas.....	56
3.10.	Procesamiento estadístico.....	56
	Capítulo IV.....	61
	Resultados y discusión.....	61
4.1.	Resultados.....	61
4.1.1.	Objetivo específico 1:	61
4.1.1.1	Ubicación de las canteras y muestreo de los agregados.....	61
4.1.1.2	Muestreo de canteras	65
4.1.1.3	Estudio de los agregados	67
4.1.1.4	Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107	67
	Resultados de la cantera Condebamba y Quitasol.....	69
	Estudio del agregado de concreto reciclado (ACR)	70
4.1.1.5	Adiciones de ACR a las Canteras de Condebamba y Quitasol.	74
4.1.1.6	Resultados del valor de CBR del material de cantera adicionado con ACR	75
	Granulometría por tamizado (Condebamba + ACR), según MTC E 107.	75
	Resultados del ensayo de Proctor Modificado (Condebamba + ACR)	76
	Resultados del ensayo de CBR (Condebamba - ACR)	77
	Granulometría por tamizado (Quitasol + ACR), según MTC E 107.....	80
	Resultados del ensayo de proctor modificado (Quitasol: ACR).....	82
	Resultados del ensayo de CBR (Quitasol : ACR).....	83
4.1.2.	Objetivo específico 2:	86
4.1.2.1	Resultados del valor de índice de plasticidad (IP)	86

IP de la muestra adicionada de ACR a la cantera Condebamba	86
IP de la muestra adicionada de ACR a la cantera Quitasol.....	87
4.1.3. Objetivo específico 3:	88
4.1.3.1 Resultados del valor de Equivalente de arena (EA).....	88
Equivalente de la adición de ACR a la cantera Condebamba	88
Equivalente de arena de la adición de ACR a la cantera Quitasol	90
4.2. Discusión de resultados.....	93
4.3. Prueba de hipótesis	96
4.3.1. Hipótesis específica 1	97
4.3.2. Hipótesis específica 2.....	100
4.3.3. Hipótesis específica 3.....	103
Conclusiones.....	108
Recomendaciones.....	111
Referencias bibliográficas	112
ANEXOS	115

Índice de tablas

Tabla 1 Serie de tamices.....	16
Tabla 2 Pesos mínimos para la muestra retenido en la malla N° 4.....	17
Tabla 3 Cuadro resumen de Proctor Modificado	20
Tabla 4 Valores asignados para el ensayo de CBR.....	27
Tabla 5 Requerimientos para base granular en pavimentos	30
Tabla 6 Husos Granulométricos para Base Granular	30
Tabla 7 Equipos para el ensayo de Limite Liquido	32
Tabla 8 Características del CBR según MTC.....	39
Tabla 9 Características del CBR según el Reglamento de Nacional de Edificaciones	40
Tabla 10 Requerimiento para el agregado grueso para bases granular	40
Tabla 11 Requerimiento del agregado fino para la base granular en pavimentos	41
Tabla 12 Operacionalización de variables.....	52
Tabla 13 Cantidad de muestra para la Incorporación de agregado de concreto reciclado al material de cantera de Condebamba.	54
Tabla 14 Cantidad de muestra para la incorporación de agregado de concreto reciclado al material de cantera de Quitasol	54
Tabla 15 Cantidad total de muestra por canteras.....	54
Tabla 16 Instrumentos a emplear para cada ensayo.....	55
Tabla 17 Codificación de las muestras.....	65
Tabla 18 Resultados del análisis granulométrico de la cantera Condebamba, Quitasol. ...	68
Tabla 19 Resumen resultados de la cantera Condebamba.	69
Tabla 20 Resultados del ensayo de análisis granulométrico del ACR.....	72
Tabla 21 Resumen de los ensayos realizados al ACR.	73
Tabla 22 Proporciones de cantera natural + ACR	74
Tabla 23 Granulometría de las diferentes combinaciones realizadas a la C. Condebamba + ACR.	75
Tabla 24 Resultados del ensayo de proctor modificado de la adición de ACR.....	76
Tabla 25 Resultados del ensayo de CBR de las combinaciones de la C. Condebamba + ACR	79
Tabla 26 Granulometría de las diferentes combinaciones realizadas a la C. Quitasol + ACR	80
Tabla 27 Resultados del ensayo de proctor modificado de la adición de ACR.....	82
Tabla 28 Resultados del ensayo de CBR de las combinaciones de la C. Quitasol + ACR.84	

Tabla 29 Resultados del ensayo de IP de la adición de ACR a la cantera Condebamba. ..	86
Tabla 30 Resultados del ensayo de IP de la adición de ACR a la cantera Quitasol.	87
Tabla 31 Resultados del ensayo de equivalente de arena de la adición de ACR a la C. Condebamba.	89
Tabla 32 Resultados del ensayo de equivalente de arena de la C. Quitasol + ACR.	90
Tabla 33 Resumen de resultados de los ensayos realizados a las combinaciones de la C. Condebamba + ACR.	91
Tabla 34 Resumen de resultados de los ensayos realizados a las combinaciones de la C. Quitasol + ACR.	92
Tabla 35 Resultados de la hipótesis específica 1 cantera Condebamba + ACR.....	98
Tabla 36 Resultados de la hipótesis específica 1 de la cantera Quitasol + ACR.....	99
Tabla 37 Resultados de la hipótesis específica 2 cantera Condebamba + ACR.....	101
Tabla 38 Resultados de la hipótesis específica 2 cantera Quitasol + ACR.	102
Tabla 39 Resultados de la hipótesis específica 3 cantera Condebamba + ACR.....	104
Tabla 40 Resultados de la hipótesis específica 3 cantera Quitasol + ACR.	105
Tabla 41 Resumen de decisiones adoptadas para las pruebas de hipótesis.	106

Índice de figuras

Figura 1	Formato de granulometría por tamizado	19
Figura 2	Equipos y Herramientas del ensayo de Proctor Modificado	21
Figura 3	Grafico del ensayo de Proctor Modificado	23
Figura 4	Equipo CBR.....	24
Figura 5	Gráfico penetración vs carga – CBR.....	28
Figura 6	Gráfico del ensayo de límite líquido	33
Figura 7	Ensayo de límite plástico.....	34
Figura 8	Ensayo de equivalente de arena	37
Figura 9	Tabla de datos de la distribución “t” Student.	59
Figura 10	Diagrama bilateral de la distribución “t” Student.	60
Figura 11	Ubicación de las canteras en estudio.....	62
Figura 12	Cantera Condebamba	63
Figura 13	Cantera Quitasol	64
Figura 14	Escombros de pavimentos rígidos	64
Figura 15	Muestreo de la cantera Condebamba (M-1)	65
Figura 16	Muestreo de la cantera Quitasol (M-2)	66
Figura 17	Muestreo del agregado de concreto reciclado (M-3)	66
Figura 18	Curva granulométrica de las canteras en estudio.....	68
Figura 19	Obtención de escombros de concreto de la Av. Venezuela - Abancay.....	70
Figura 20	Obtención de agregado de concreto reciclado.....	71
Figura 21	Muestra de agregado de concreto reciclado.	71
Figura 22	Curva granulométrica del ACR	72
Figura 23	Combinación de muestras de cantera Quitasol y ACR.	74
Figura 24	Curva granulométrica de la cantera Condebamba + Combinaciones.	76
Figura 25	Resultados de la densidad máxima seca de la adición de ACR.....	77
Figura 26	Ensayo de CBR de la Cantera Condebamba + ACR	78
Figura 27	Ensayo de CBR Cantera Condebamba + ACR.....	78
Figura 28	CBR de la C. Condebamba + ACR.....	79
Figura 29	Evolución del valor de CBR de las combinaciones de C. Condebamba + ACR80	
Figura 30	Curva granulométrica de la cantera Quitasol + Combinaciones	81
Figura 31	Resultados de la densidad máxima seca de la adición de ACR.....	82
Figura 32	Ensayo de CBR de la cantera Condebamba + ACR	83
Figura 33	Ensayo de CBR cantera Quitasol + ACR.....	84

Figura 34 CBR de las combinaciones de la C. Quitasol + ACR.	85
Figura 35 Evolución del valor de CBR de las combinaciones de C. Quitasol + ACR.	85
Figura 36 Índice de plasticidad de la C. Condebamba + ACR.....	87
Figura 37 Índice de plasticidad de la C. Quitasol + ACR.	88
Figura 38 Resultados de Equivalente de Arena de las Adiciones con ACR.	89
Figura 39 Resultados de Equivalente de Arena de las combinaciones con ACR.....	90
Figura 40 Diagrama de la región crítica y la región de aceptación de la investigación. ..	96
Figura 41 Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 1 ubicados en la región crítica de la cantera de Condebamba.....	99
Figura 42 Diagrama de los estadísticos ubicados en la región crítica de la cantera de Quitasol.	100
Figura 43 Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 2 – cantera Condebamba.	102
Figura 44 Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 2, cantera Quitasol-ACR.	103
Figura 45 Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 3, cantera Condebamba-ACR.	105
Figura 46 Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 3, cantera Quitasol-ACR.	106

Listado de ecuaciones

Porcentaje retenido en cada malla	18
Porcentaje pasante la malla N°200	18
Porcentaje pasante en cada tamiz	18
Contenido de humedad.....	22
Peso unitario humedo	22
Peso unitario seco	22
Expansión CBR	27
CBR.....	28
Contenido de humedad.....	33
Límite plástico	35
Índice de plasticidad	35
Equivalente de arena	39
“t” calculado	58
“t” calculado	58

Acrónimos

ACR	: Agregado de concreto reciclado
CBR	: Relación de soporte california
NTP	: Norma técnica peruana
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
IP	: Índice de plasticidad
LL	: Límite líquido
LP	: Límite plástico
EA	: Equivalente de arena
MDS	: Máxima densidad seca
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte
ASTM	: American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas del material de las canteras Condebamba y Quitasol al adicionarle agregado de concreto reciclado (ACR) para ser usado como base en pavimentos flexibles. Se estudió específicamente su influencia en el valor Relación de Soporte California (CBR), índice de plasticidad y equivalente de arena.

El ACR se obtuvo de los escombros de concreto de la demolición del pavimento de la Av. Venezuela en la ciudad de Abancay, para luego ser llevados a la planta trituradora de agregados y obtener el ACR, para posteriormente mezclar a las canteras en diferentes proporciones. El tipo de investigación considerado fue una investigación aplicada, con un diseño experimental basado en experimentos de ensayos. Para desarrollar la investigación se realizó todos los ensayos de caracterización de las canteras de Condebamba y Quitasol, obteniéndose así un resultado patrón. Se consideró 4 adiciones diferentes, para la cantera Condebamba se consideró las siguientes adiciones: 70% - 30%, 60%-40%, 50%-50% y 70%-30% (%Cantera: %ACR), y para la cantera Quitasol se consideró lo siguiente: 90% - 10%, 80%-20%, 70%-30% y 50%-50%.

De los resultados obtenidos, dan a conocer que la adición de ACR al material granular de cantera incrementa el valor de CBR, disminuye el valor de índice de plasticidad e incrementa el valor de equivalente de arena. Las proporciones óptimas encontradas a la cantera Condebamba 50% - ACR 50% y cantera Quitasol 70% - ACR 30%.

Palabras claves: CBR, índice de plasticidad, equivalente de arena.

Abstract

The objective of this research work was to evaluate the physical and mechanical properties of the material from the Condebamba and Quitasol quarries by adding recycled concrete aggregate (ACR) to be used as a base in flexible pavements. Its influence on the California Support Ratio (CBR) value, plasticity index and sand equivalent was specifically studied.

The ACR was obtained from the concrete rubble from the demolition of the pavement of Av. Venezuela in the city of Abancay, to then be taken to the aggregates crushing plant and obtain the ACR to later mix the quarries in different proportions. The type of research considered was applied research, with an experimental design based on trial experiments. To develop the research, all the characterization tests of the Condebamba and Quitasol quarries were carried out, thus obtaining a standard result. 4 different additions were considered, for the Condebamba quarry the following additions were considered: 70% - 30%, 60% -40%, 50% -50% and 70% -30% (% Quarry: % ACR), and for the Quitasol quarry was considered as follows: 90% - 10%, 80% -20%, 70% -30% and 50% -50%.

The results obtained reveal that the addition of ACR to the granular quarry material increases the CBR value, decreases the plasticity index value and increases the sand equivalent value. The optimal proportions found in the Condebamba quarry 50% - ACR 50% and Quitasol quarry 70% - ACR 30%.

Keywords: CBR, Plasticity Index, Sand equivalent.

Introducción

Para conformación de la capa base de la estructura del pavimento flexible, se requieren de materiales provenientes de cantera que presenten óptimas condiciones, dependiendo de la calidad de los materiales influirá en el comportamiento futuro del pavimento. Muchas veces, cuando dichos materiales no cumplen con las exigencias mínimas para ser usados como base, se plantean diferentes alternativas de solución dependiendo de las características del proyecto y de la disponibilidad de materiales.

En la investigación, se planteó el uso de agregado de concreto reciclado, se adicionó en diferentes proporciones al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol, de tal manera, ver su influencia en el valor de CBR, índice de plasticidad y equivalente de arena. El agregado de concreto reciclado al ser un material con características similares al de una cantera natural, su uso es una excelente forma de reaprovechar estos materiales que muchas veces pasan a ser depositados en los botaderos informales de la ciudad.

La investigación se organiza en 5 capítulos:

En el Capítulo I, se menciona la realidad problemática de la presente investigación, mencionando el problema general y los derivados problemas específicos, dando a conocer los objetivos generales y específicos de la investigación. En el capítulo II, hace mención al marco teórico, considerando los antecedentes de la investigación y las bases teóricas correspondientes a las variables en estudio. En el capítulo III, se desarrolló la metodología de la investigación, indicando el método, tipo, nivel o alcance y diseño de la investigación. Además, se determina la población y muestra, técnicas en instrumentos y procesamiento de datos. Finalmente, en el capítulo IV, se presenta los resultados obtenidos y las respectivas discusiones en bases a los ensayos realizados en la presente investigación.

Se adjuntan los anexos, los instrumentos de recolección y resultados de los ensayos realizados y también los registros fotográficos.

Capítulo I

Planteamiento del problema

1.1. Realidad problemática

Actualmente a nivel mundial, el sector de la construcción es uno de los más contaminantes por la masiva producción de residuos provenientes de la construcción de las obras y la demolición de las mismas que cumplieron su vida útil.

Los primeros estudios realizados a los materiales provenientes de la demolición de pavimentos empleados como agregados en el concreto, fueron posterior a la segunda guerra mundial realizado por los europeos, cuya finalidad era la búsqueda de un uso adicional para estos residuos, puesto que gran parte se consideraba como desechos. A partir de ello, les permitió reducir grandes cantidades de escombros o desechos originados producto de la destrucción de las ciudades, lo cual requeriría una menor disposición de terrenos para su almacenaje, a la vez con el reciclaje y la reutilización de estos disminuiría la demanda de materiales provenientes de canteras de ríos u otro lugar, necesarios para la reconstrucción de las ciudades destruidas. (Nixon, 1978; Olorunsogo y Padayachee, 2002)

En la actualidad en países de Europa y en algunos países de América, se han estado utilizando estos residuos de la construcción y demolición (RCD) como agregado de concreto reciclado (ACR). Este producto se ha estado utilizando como materia prima en la

construcción de la estructura del pavimento. En su trabajo de investigación de Wilburn (1998), menciona que el uso que se les da a los agregados de concreto reciclado proveniente de los escombros, es predominantemente en la construcción de la estructura del pavimento como reemplazo de materiales de vírgenes de base, sub base y con menos frecuencia en la carpeta asfáltica y en losas de Concreto, estimando que solo el 68% del agregado de concreto reciclado se usa en como material de base y sub base.

En América la reutilización de los RCD es muy baja, solo algunos países como Brasil, México y Estados Unidos están utilizando productos del reciclaje de los RCD, aprovechándolos para la elaboración de bases o sub-bases granulares, y estos solo llegan a un 10% del aprovechamiento total de estos residuos como agregados en la construcción de las bases de soporte de los pavimentos flexibles y rígidos (Gómez y Farias, 2012; Conceição et al. (2010))

Según Ramos (2016), en Perú no somos ajenos a esta problemática, puesto que también al igual que en otros países no se habitúa a reciclar y reutilizar los RCD y gran parte de estos residuos son destinados a los botaderos. Ante esta realidad, las primeras investigaciones deben de estar orientadas al desarrollo de teorías del reciclado de materiales, en base a ello desarrollar experiencia de tal manera que consolide la teoría. A partir de ello, se podrá asignar distintos usos a estos materiales y generar una normatividad de control de calidad para estos agregados.

En la ciudad de Abancay, dentro del importante volumen de residuos de la construcción que se generan, están los escombros provenientes de pavimentos en demolición, obras de arte y edificaciones. En el año 2018 – 2019, se demolieron varias avenidas en la ciudad de Abancay, entre la que más destacan son la Av. Perú, Av. Venezuela, Av. Abancay, Av. Díaz Bárcenas y Jr. Puno. De estas demoliciones, se obtuvieron aproximadamente 10000 m³, es decir, 24000 toneladas de escombros de pavimento rígido.

Dichos residuos tienen como destino final los botaderos ubicados en la zona de Quitasol alterando el paisaje y contaminando extensas áreas vírgenes.

Este es un problema de varias décadas en nuestra región, no sabemos qué hacer con los residuos de la construcción, seguimos careciendo de una cultura de reciclado todo esto asociado a la falta de conocimiento de los profesionales en este campo. Puesto que gran parte de los residuos de concreto de pavimentos pueden ser triturados y reaprovechados como agregado reciclado, pudiendo ser utilizados en su totalidad o parcialmente combinándolo con agregados naturales provenientes de canteras para formar parte del componente granular de la base del pavimento. Mediante el uso de este material (ACR), se puede mejorar materiales con problemas de baja capacidad de soporte (CBR), expansión alta, plasticidad, etc. De tal manera, mejorar sus propiedades hasta alcanzar valores de materiales de elevadas prestaciones de acuerdo a la normatividad que rige en nuestro país.

Por otro lado, los requerimientos de la norma del MTC y del reglamento nacional de edificaciones para materiales de base de un pavimento flexible son muy exigentes y rigurosos. Las canteras de mayor uso para la conformación de base granular en la ciudad de Abancay, muchas veces no cumplen con dichos parámetros, pese a ello se sigue utilizando si hacer ninguna mejora o tratamiento previo al material. A raíz de eso y la disponibilidad de escombros de concreto provenientes de pavimentos la presente investigación tiene por objetivo mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las canteras de Quitasol y Condebamba, adicionando en diferentes proporciones agregado de concreto reciclado proveniente de los pavimentos en demolición para ser usado como material de base en pavimentos flexibles en la ciudad de Abancay. Todo ello se hará mediante estudios previos, a través de ensayos de laboratorio que determinen sus características físicas, mecánicas y especifiquen su uso, de tal manera cumplan las exigencias mínimas dadas por la norma de Pavimentos Urbanos y del Ministerio de Transportes y comunicaciones.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Formulación de problemas

1.2.2. Problema general

¿Cuál es la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de CBR, índice de plasticidad y equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano en la ciudad de Abancay?

1.2.3. Problemas específicos:

- a) ¿Cuál es la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano?
- b) ¿Cuál es la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano?
- c) ¿Cuál es la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano?

1.3. Justificación de la investigación

El presente trabajo se justifica en la reducción de uso de materiales de cantera y el reaprovechamiento de los escombros de pavimentos como agregado de concreto reciclado, no dar un uso a ello genera un impacto ambiental, puesto que estos pasan a ser depositados en los botaderos informales de la ciudad.

Se planteó adicionar ACR en diferentes proporciones al material granular de cantera y ver cómo influye en sus propiedades físicas - mecánicas, con la finalidad de mejorar sus propiedades con respecto a la muestra natural de cantera

Mediante la adición de ACR se puede sustituir materiales que tengan baja capacidad de soporte, alta expansión, plasticidad alta, mala gradación etc., de tal manera, mejorar sus propiedades hasta alcanzar valores de materiales de elevadas prestaciones.

Debido a que los ACR muestran características similares al de una cantera natural, estas pueden ser una opción adecuada para el uso como material de base en la construcción de carreteras. El uso de agregado de concreto reciclado es una alternativa innovadora de reaprovechamiento de materiales que todavía tiene un valor en la construcción, puesto que gran parte de estos escombros son eliminados en los botaderos de nuestra ciudad, generando pérdida de áreas verdes en esta zona. Esta alternativa de uso hace que la construcción sea una industria amigable ambientalmente generando el menor impacto ambiental posible.

En nuestro país, aún no se tiene una normatividad de construcción y control de calidad del uso del agregado de concreto reciclado. Con esta investigación, se pretende dar un aporte para futuras investigaciones que quieran poner hacer uso de este material para la construcción de bases y subbases en pavimentos como material 100% ACR o con la adición de otra cantera.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de CBR, índice de plasticidad y equivalente de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

1.4.2. Objetivos específicos:

- a) Determinar la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

- b) Determinar la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.
- c) Determinar la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Espacial

La investigación se desarrolló en la ciudad de Abancay, región de Apurímac. La ejecución de los ensayos, se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos, concreto y pavimento, perteneciente de la Universidad Tecnológica de los Andes.

1.5.2. Temporal

En la presente investigación, su delimitación temporal comprende al año 2019 toma de muestras y la ejecución de ensayos de laboratorio corresponde al año 2020.

1.5.3. Social

Esta delimitación no es aplicable en la siguiente investigación.

1.5.4. Conceptual

La investigación desarrollada, contempló el estudio de las propiedades en físicas y mecánicas del material granular de las canteras para base en la ciudad de Abancay, así como también del agregado de concreto reciclado (ACR), mejorando las propiedades físicas y mecánicas adicionando ACR. Dentro de las propiedades más influyentes son el CBR, índice de plasticidad, y equivalente de arena.

1.6. Viabilidad de la investigación

La presente investigación es viable porque se dispone de información primaria, tanto en internet, libros y revistas en referencia.

La investigación desarrollada, buscó como alternativa mejorar el material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol, mediante la adición de ACR en diferentes proporciones, para posteriormente utilizarlo en las diversas obras de pavimentación en la ciudad de Abancay.

Es viable respecto al tema financiero porque, los costos fueron asumidos por el investigador, puesto que la obtención de los escombros se obtuvo del pavimento en demolición y las muestras de canteras de Condebamba y Quitasol para los diferentes ensayos se obtuvo a un costo relativamente bajo. El costo de producción ACR por medio de la trituración de los escombros de concreto, así como también la combinación en obra de los materiales de cantera natural más ACR es rentable, estando al alcance económico para el sector público y privado para hacer el uso de este nuevo material.

1.7. Limitaciones de la investigación

Económicas

No se dispuso de muchos recursos económicos, puesto que todos los ensayos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos, concreto y pavimento de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – UTEA. Tampoco, se dispuso de muchos recursos para el transporte y trituración de escombros ubicados en el sector de Pachachaca.

Tecnológicas

En la investigación desarrollada no se encontraron limitaciones tecnológicas, puesto que la universidad cuenta con equipamiento, infraestructura e instalaciones adecuadas.

Conceptuales

No se encontró información semejante de trabajos, publicaciones e investigaciones llevadas a cabo en el contexto local y regional. Se hizo uso de antecedentes nacionales e internacionales, aplicando sus métodos empleados por dichos investigadores, de tal manera aplicarlos en la investigación desarrollada.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Olmedo y Barrera (2015), en su trabajo de investigación titulado *Utilización de los residuos de la construcción y demolición (RCD) ligados con materiales cementantes en pavimentos* (Tesis de Pregrado), realizado en Santiago de Cali – Colombia. Planteó como objetivo principal estudiar el uso de los residuos de la construcción y demolición ligados con cemento en la estructura del pavimento (sub base y afirmado) en la ciudad de Cali; el material empleado fueron los residuos de la construcción y demolición (RCD). Se realizó la previa selección de materiales contaminantes y luego se trituró los escombros hasta obtener un tamaño máximo nominal de 1 ½”, realizó la caracterización física del RCD y obtuvo que; del ensayo de Proctor modificado una densidad máxima seca de 17.4 Kn/m^3 y una humedad óptima de 16%. Para los ensayos CBR, hizo 04 ensayos con diferentes contenidos de cemento 0%, 1%, 2% y 5%, todos los ensayos fueron realizados después de un curado de 7 días, obteniendo valores de 99% ,114%,203%,452 % de CBR a 56 golpes con una humedad óptima promedio de 15%. Con respecto a la limpieza del material, obtuvo índice de plasticidad de 0% (No plástico) y un equivalente de arena de 65%. Concluye que se debe

realizar una previa selección de materiales, vale decir la separación de los escombros de concreto (concreto, morteros, cerámicos) de otros materiales (maderas, aceros de refuerzo). De los resultados de la caracterización física, no cumplió con la totalidad de requisitos que requiere para ser usado en bases y subbases del pavimento, en especial el porcentaje de desgaste los ángeles (59%) por la presencia de cerámicos en la muestra. Se determinó su influencia notoria en el valor de CBR incrementando sustancialmente a medida que se incrementa las proporcione de cemento.

Peña et al. (2018), en la publicación de su revista científica titulada *Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de subbases granulares. Una alternativa al manejo de residuos en el valle de Aburrá* (revista científica), realizado en la ciudad de Medellín, planteó como objetivo contribuir la reducción de residuos de la construcción y demolición (RCD) mediante el uso de dicho material como materia prima para la conformación de bases y sub-bases en pavimentos, destinadas a ser utilizadas parcialmente o en su totalidad. La metodología que empleó fue el análisis experimental, iniciando con el muestreo aleatorio de material RCD con características y composición adecuadas, proveniente de la obra Unidad de Vida Articulada (UVA) El Paraíso, ubicado en el corregimiento de San Antonio de Prado, obtuvo el agregado de concreto reciclado luego de haberlo triturado en una planta de trituración, para luego mediante ensayos de laboratorio obtener sus propiedades físicas y mecánicas. Las conclusiones al que llegaron fueron fue que; el concreto triturado proveniente de RCD requiere del proceso de separación de materiales contaminantes como el cerámico, para la elaboración de subbases granulares y bases granulares, ya que esta propensa a que no se tenga una homogeneidad del material. Con respecto a su gradación, los RCD cumplen con los requisitos mínimos en la norma para ser usados en capas estructurales sub-bases granular tipo II. Los resultados de la máxima densidad seca de RCD es de 1.818 gr/cm^3 y un

contenido de humedad óptimo de 11.5%, y en comparación con un material pétreo de la zona con un valor de 2.315 gr/cm^3 y una humedad óptima de 8% con lo que se evidencia que los RCD tienen una menor densidad y necesitan una mayor cantidad de agua para llegar a una mejor densificación. Se obtuvo además del ensayo de abrasión los ángeles un desgaste de 40.1% y que estos valores están dentro de las especificaciones. Además, concluye que la reutilización de los RCD, reduce el almacenamiento de escombros en los botaderos de la ciudad, reduciendo considerablemente el impacto ambiental que generado por la construcción.

Arenas (2015). En su trabajo de investigación titulado *Influencia del curado en las propiedades mecánicas de un material de base granular compuesto por agregados de concreto reciclado* (tesis de pregrado), desarrollado en la Universidad de la Salle – Bogotá – Colombia. Planteó como objetivo analizar la influencia que tiene el curado en la resistencia del agregado de concreto reciclado para ser utilizado como material de base granular en un pavimento obtenido a partir de la trituración de escombros de concreto. La muestra empleada fue de una planta de reciclaje de Bogotá – Colombia, caracterizó el agregado de concreto reciclado de acuerdo a su normatividad de su país, y ajustó la curva granulométrica para ser usado en bases, del ensayo de compactación determinaron una densidad máxima de 1.86 gr/cm^3 y una humedad óptima de 8.2 %. Para el ensayo de CBR se realizaron para su humedad óptima, se hicieron variando la energía de compactación de 10, 30, 65 golpes por capa y a diferentes tiempos de curado de 0, 7, 14, 28, 56 días en cámara húmeda. Los resultados de CBR al 100% de su MDS empleando su humedad óptima, obtuvo los siguientes resultados; 94 % corresponde a los 0 días, 99% para los 7 días, 136% para los 14 días, 202% para los 28 días y 260% de CBR correspondiente a los 56 días. Concluyó que el agregado obtenido de la planta de reciclaje de Bogotá es viable como material de base para ser usado en carreteras, teniendo un comportamiento similar o superiores que los agregados naturales

provenientes de cantera. Evidenciando que la capacidad de soporte o CBR de un ACR incrementa a medida que transcurren los días de curado principalmente durante los 28 días, según los resultados se observaron que el CBR de a 0 días fue de 94 % y a 28 días de curado fue de 202%. Además, concluyó que el ACR mejora su resistencia de CBR con una humedad superior a la humedad óptima y pide que se continúe investigando para determinar hasta qué punto se puede ir incrementando su humedad de tal hasta alcanzar el pico máximo de su resistencia.

Garnica et al. (2018) en la publicación de su revista titulado *Agregado de base de concreto reciclado versus agregado de base tradicional* (artículo de revista), realizado en la ciudad de México – México, Planteó como objetivo evaluar las propiedades del agregado de concreto reciclado y una cantera tradicional. En la investigación utilizaron material de 1 pulgada, lo facilitaron la empresa PRECOVA (empresa proveedora de residuos generados por la construcción), el agregado natural se tomó de la combinación de dos canteras un agregado de basalto triturado y de una arena limosa. Realizaron todos los ensayos correspondientes y llegaron a la siguiente conclusión: las gradaciones del ACR, como de cantera natural cumplen con la granulometría de acuerdo a la normatividad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con respecto al módulo de resiliencia indican mayores valores para ACR, así mismo, dichas muestras soportan niveles de esfuerzos más altos.

Olivera (2016). En su trabajo de investigación de tesis titulado *Recomendaciones técnicas sobre las especificaciones actuales, respecto al uso de material reciclado RCD proveniente de construcciones verticales en bases y sub bases en pavimentos de la malla vial de Bogotá* (Tesis de posgrado), realizado en la ciudad de Bogotá – Colombia, planteó como objetivo establecer recomendaciones técnicas sobre las especificaciones actuales, respecto al uso de material reciclado RCD proveniente de construcciones verticales en bases. Dentro de sus principales conclusiones, para la aceptación de agregados para bases y

subbases, se deberá realizar ensayos en base a las normas vigentes de carreteras, ya que por las diferencias que presentan los agregados reciclados con los de la cantera natural se requerirá ensayos adicionales como requisito para garantizar la durabilidad de la estructura durante su periodo de diseño.

2.1.2. A nivel nacional

Contreras y Herrera (2015), en su trabajo de investigación titulado *Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y subbases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote-Santa-Áncash* (tesis de pregrado), desarrollado en la Universidad Nacional del Santa, Chimbote - Perú, planteó como objetivo principal mejorar el agregado reciclado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub – bases de estructuras de pavimentos, planteando el mejoramiento por combinación de agregado reciclado – agregado natural en tres proporciones distintas. Las muestras que emplearon son los escombros de RCD del vertedero informal de campamento Atahualpa y playa Anconcillo – Nuevo Chimbote. Trituraron los escombros hasta obtener un tamaño máximo de 1 ½”, para luego de ello determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Evaluaron la cantera natural San Pedrito (100% AN), obteniendo una densidad máxima de 2.29 gr/ cm³, una humedad optima de 6.60% y un CBR de 120.82%, además evaluó el agregado reciclado (100% AR), obtuvieron un valor máxima densidad seca de 1.974 gr/cm³, 7.50% de humedad optima, obteniendo un CBR de 60.67%. A partir de ello realizaron 03 combinaciones en diferentes proporciones y obtuvieron los siguientes resultados. Las combinaciones fueron 50% AR - 50% AN, obtuvieron un valor máxima densidad seca de 2.128 gr/cm³, 7.20% de humedad optima y un CBR de 115.62%, para la combinación de 60% AR - 40% AN obtuvieron un valor máxima densidad seca de 2.071 gr/cm³, 8.30% de humedad óptima y un valor de CBR 113.97%, para la combinación de 75% - 25% obtuvieron un valor máxima densidad seca de 2.044 gr/cm³, 7.80% de humedad óptima obtuvo un valor de CBR 86.72%. Concluyendo

que las tres combinaciones presentan características óptimas respecto al CBR, todos estando por encima de los requisitos mínimos para ser usado como base y subbase granular. La presencia de mayores cantidades de partículas de cemento adheridos en la grava promueve la mejor en acomodo entre las partículas conllevando a una mejor compactación del suelo, la humedad influirá en la fragmentación de las partículas, será mayor cuando este más seco y menor cuando este más húmedo. Además, concluye que las propiedades físicas y mecánicas del agregado reciclado mostraron ser semejantes al agregado natural, dichas propiedades tales como abrasión, sales solubles, equivalente de arena dependerán principalmente de la calidad del mortero de concreto de origen y al tipo de agregado natural empleado.

Chasquero y Hurtado (2019), en su trabajo de investigación de tesis titulado *Uso del concreto reciclado proveniente de demoliciones para la producción de afirmado* (tesis de pre grado), desarrollado en la Universidad Nacional del Jaén, Cajamarca - Perú, planteó como objetivo principal determinar una o más proporciones de mezcla de concreto reciclado con suelo natural para producir afirmado que cumpla con las especificaciones en el manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Las muestras empleadas fue de cantera Sr. Cautivo ubicado en la misma ciudad. La extracción de concreto proveniente de las demoliciones fueron de los botaderos informales. Se plantearon combinaciones de 70% CR – 30%SC, 60% CR – 40%SC y 50%CR, 50%SC y procedieron a determinar sus características especialmente en la granulometría, índice de plasticidad y CBR de la muestra mezclada. Las principales conclusiones a las que llegaron fue que las combinaciones de 70% CR – 30%SC, 60% CR – 40%SC cumplen con los valores de mínimos CBR requeridos por la norma, obteniendo valores de 58% y 47% referidos a la máxima densidad seca y a una penetración de 0.1 pulgada , con respecto a la gradación e índice de plasticidad, de las combinaciones empleadas, la granulometría encaja al Huso

granulométrico (A-1) a si mismo los valores de índice de plasticidad se encuentran dentro de los valores establecidos por la Norma del MTC.

Román (2017) en su trabajo titulado *Análisis del comportamiento de los materiales reciclados de escombros para subbase en pavimentos flexibles en la Av. Nazca, SJJ, Lima* (tesis de pregrado), desarrollado en la Universidad César Vallejo, Lima - Perú, planteó como objetivo, obtener resultados óptimos al analizar el comportamiento de los materiales reciclados de escombros para ser usado en sub-base de pavimentos flexibles. La muestra que empleó fue de los escombros de demolición de pavimentos de la Av. Magistrados y Av. Médicos. Caracterizaron al material reciclado y obtuvieron un CBR de 38.4% referido al 100% de su máxima densidad seca, con una densidad máxima de 1.814 gr/cm^3 y humedad óptima de 10.3%, un índice de plasticidad igual a 0 y un equivalente de arena igual a 46.7%. Emplearon la combinación de 80% material reciclado y 20% material natural. Y obtuvieron un valor de CBR de 48.4% referido al 100% de su máxima densidad seca, un índice de plasticidad de 0%, una densidad máxima de 2.217 gr/cm^3 y una humedad óptima de 6.2% y con un equivalente de arena de 36%. Concluye que la mezcla de 80% material reciclado y 20% material natural, incrementa la capacidad de soporte (CBR) desde un 20% hasta un 40%.

No existen muchos antecedentes en investigaciones o publicaciones con respecto a este tema, hay publicaciones de años anteriores y por antigüedad se están descartando.

2.1.3. A nivel regional y local.

A nivel regional o local, no existen antecedentes en investigaciones o publicaciones con respecto a ACR y su uso en mejoramiento de bases en pavimentos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Relación de Soporte California (CBR)

2.2.1.1. Procedimiento para determinar el valor de CBR de un material de cantera.

Ubicación de las canteras

Se ubicará las fuentes de materiales (canteras) material granular para base granular utilizadas en pavimentos en la ciudad de Abancay. Según MTC (2014) menciona que para la ubicación de fuentes de materiales o canteras se tomara en cuenta la distancia a la obra (centro de gravedad) así como también que cumplan con la calidad y cantidad (potencia) requerida para la obra.

Muestreo del material

Se hará el muestreo de los materiales encontrados en dichas canteras de acuerdo al MTC E 101 (muestreo de suelos y rocas), en dicho manual establece las cantidades mínimas a llevar al laboratorio según los ensayos requeridos. El muestreo consistirá en la extracción de muestras representativas, que permita caracterizar de mejor manera los materiales encontrados.

Homogenizar el material en laboratorio

Debido a que, en el muestreo de material se toma muestra de varios puntos (para que sea representativa). Se realiza el mezclado de todas las muestras traídas en sacos pertenecientes a la cantera, de tal manera obtener una muestra homogénea. Luego de ello se procede a reducir la muestra mediante el cuarteo hasta la obtener la cantidad necesaria para la realización de los ensayos propuestos.

Para determinar las propiedades de los materiales de cantera, se desarrollarán de acuerdo al manual de ensayo de materiales del MTC, dichos procedimientos se describen a continuación:

Ensayo de análisis granulométrico por tamizado

Se hará de acuerdo al procedimiento del MTC E107, en el cual establece el método para determinar los pesos expresados en porcentajes de suelo que pasa por los distintos tamices de la serie empleada hasta el tamiz N° 200 (75 μ m).

Los equipos a utilizar son:

- 01 balanza electrónica con sensibilidad de 0,1 gr, para la muestra pasante en el tamiz N° 04 (4.75 mm).
- 01 balanza electrónica con sensibilidad de 1 gr, para la muestra retenida en el tamiz N° 04 (4.75 mm).
- Estufa (horno) de convección forzada, con un controlador digital de temperatura capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C.

Materiales:

- Los tamices de malla cuadrada a emplear, se hará según a la siguiente tabla.

Tabla 1

Serie de tamices

Serie de tamices 01		Serie de tamices 02	
Tamices	Abertura (mm)	Tamices	Abertura (mm)
3"	75.00	3"	75.00
2"	50.80	1 1/2"	38.10
1 1/2"	38.10	3/4"	19.00
1"	25.40	3/8"	9.50
3/4"	19.00	N° 4	4.76
3/8"	9.50	N° 8	2.36
N° 4	4.76	N° 16	1.10
N° 10	2.00	N° 30	0.590
N° 20	0.84	N° 50	0.297
N° 40	0.425	N° 100	0.149
N° 60	0.260	N° 200	0.075
N° 140	0.106		
N° 200	0.075		

Nota. Series de tamices a utilizar según la gradación requerida.

Fuente: MTC (2016)

- Bandejas, recipientes para el manejo y pesaje de muestras
- Cepillo y brochas

Muestra

- Según las características del material fino se hará por el método de lavado o sin lavar.
- Se prepara la muestra en dos fracciones: retenida y pasante sobre el tamiz N°4. Ambas fracciones se ensayarán independientemente, la muestra se secará previamente en horno hasta obtener seco constante.
- Para el material retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm), la cantidad de muestra mínima dependerá del tamaño máximo de las partículas, tal como lo indica la Tabla 2.

Tabla 2

Pesos mínimos para la muestra retenido en la malla N° 4

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (in)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9.5 (3/8")	500
19.6 (3/4")	1000
25.7 (1")	2000
37.5 (1 1/2")	3000
50.0 (2")	4000
75.0 (3")	5000

Nota. Pesos mínimos a usar según al TMN del agregado grueso.
Fuente: MTC (2016)

- Para fracción pasante el tamiz N° 4 (4.75 mm) aproximadamente 115 g para suelos arenoso para suelos, y 75 g para suelos arcillosos y limosos, dichos pesos son considerados como mínimos.

Muestra:

- Para la fracción retenida sobre el tamiz N° 4 se utilizará los tamices 3", 2", 1 1/2", 3/4", 3/8" y N° 4.
- En la operación de tamizado se hará manualmente o mecánicamente. Cuando se haga manualmente debe hacerse mediante movimientos de un lado a otro,

recorriendo de forma circunferencial, la operación estará terminada cuando no pasa más del 1% de la parte retenida al tamizar durante un minuto. Cuando se haga tamice por el método mecánico se colocará a una tamizadora mecánica y se pondrá en funcionamiento alrededor de 10 minutos, luego se deberá verificar que no pase más del el 1% del retenido en el tamiz.

- Se pesará cada fracción retenida con una balanza electrónica con una sensibilidad de 1 g para el retenido en el material retenido en la malla N° 4. Se debe verificar para aceptar el ensayo que la suma de los pesos de todas las fracciones no difiera en más de 1% de la muestra inicial.
- Para la fracción pasante la malla N° 4, se hará por lavado sobre el tamiz N° 200
- Se separa mediante cuarteo, para suelos arenosos 115 gr y 65 gr para suelos arcillosos y limosos pesándolos con una precisión de 0.01 gr.
- Luego del lavado y secado de la muestra se procede a tamizar por la serie de tamices de la fracción fina según la Tabla 1.

Cálculos:

- Para el porcentaje retenido en cada malla se calculará con la siguiente fórmula

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{peso retenido en el tamiz}}{\text{peso total de la muestra}} \times 100 \quad (1)$$

- Para el porcentaje pasante la malla N° 200, se calculará de la siguiente manera

$$\% \text{ pasante la } N^{\circ} 200 = \frac{\text{Peso total} - \text{retenido en la malla } N^{\circ} 200}{\text{peso total de la muestra}} \times 100 \quad (2)$$

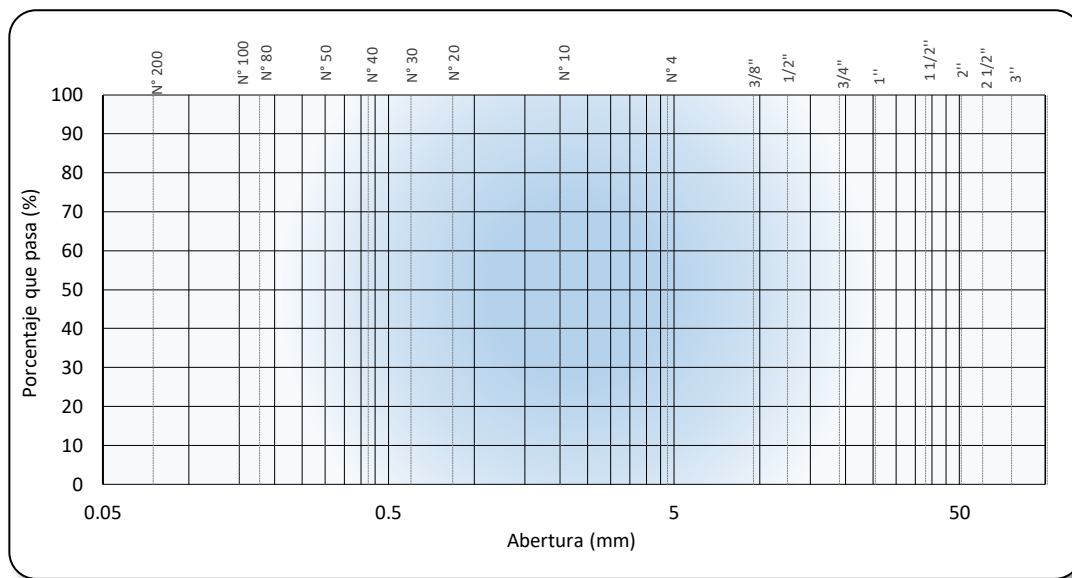
- Para el porcentaje pasante, se calculará de la siguiente manera

$$\% \text{ pasante} = 100\% - \text{Retenido acumulado} \times 100 \quad (3)$$

- Los datos luego se representan en un gráfico semilogarítmico, en el cual en el eje de las abscisas se representa diámetro de las mallas (mm) y en el eje de las ordenadas se coloca los porcentajes acumulados que pasa

Figura 1

Formato de granulometría por tamizado



Nota. Gráfico semilogarítmico del ensayo de granulometría por tamizado.
Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de compactación Proctor modificado.

El ensayo Proctor es un ensayo de referencia universal para el diseño y control de compactación de suelos mixtos. Es la densificación del suelo por medio de la expulsión del aire mediante la aplicación de una energía mecánica (martillo compactador). La compactación se realiza agregando agua ya que este actúa como un ablandador y un lubricante, haciendo que se reacomoden las partículas y se genere una mayor densificación del suelo.

Se idearon 03 métodos como se indica a continuación:

Tabla 3

Cuadro resumen de Proctor Modificado

Método	% Retenido acumulado N°4	% Retenido acumulado 3/8"	% Retenido acumulado 3/4"	Material a usar pasante	Diámetro del molde	Numero de golpes/capa	Numero de capas
A	≤20%	-	-	N°4	4"	25	5
B	>20%	≤20%	-	3/8"	4"	25	5
C	-	>20%	≤30%	3/4"	6"	56	5

Nota. Métodos a emplear para el ensayo de Proctor modificado.

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento para el ensayo se hará siguiendo el procedimiento de la norma del MTC E 115.

Equipos:

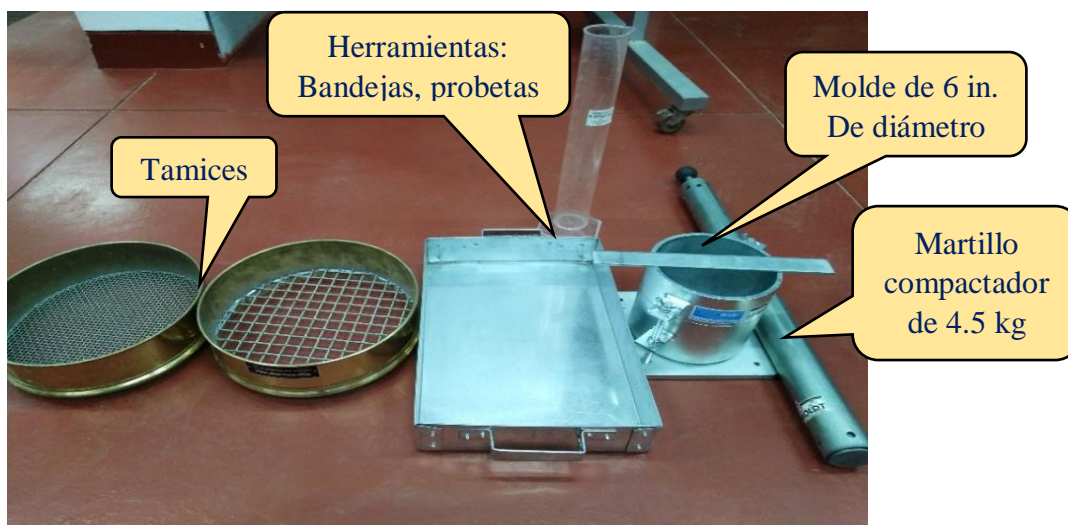
- Molde que tenga un volumen de 2124 ± 25 cm³, con un diámetro promedio interior de 152.4 ± 0.7 mm y una altura de 116.4 ± 0.5 mm.
- pisón o martillo metálico que tenga una cara plana circular de 50.8 ± 0.13 mm de diámetro, que pese 4.54 ± 0.01 kg. El martillo estará provisto de una guía que controle la altura de caída del golpe desde una altura libre de 457.2 ± 1.6 mm por encima de la altura del suelo.
- Balanza electrónica de precisión de 1 g.
- Horno, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

Materiales

- Regla Metálica de acero endurecido al menos de 254 mm de largo.
- Tamices, de 3/4", 3/8" y No.4.
- Herramientas misceláneas espátulas, bandejas, recipiente de secado

Figura 2

Equipos y Herramientas del ensayo de Proctor Modificado



Nota. Equipos y herramientas utilizadas para el desarrollo del ensayo de Proctor modificado por el método "C".

Fuente: Elaboración propia.

Muestra:

- Para determinar el método a emplear (A, B, C), se hará mediante la Tabla 3
- Para el método A y B se usará aproximadamente 16 kg y para el método C se usará aproximadamente 29 kg de muestra en condición seca.

Procedimiento muestra seca:

- Si la muestra tiene demasiada húmeda, se reducirá el contenido de agua por medio de secado al aire.
- Para muestras sin secado previo, pasar por el tamiz N°4, 3/8" o 3/4" dependiendo del método a emplearse (ver Tabla 3).
- Prepare mínimamente cuatro especímenes, cada una de ellas se mezclarán con diferentes contenidos de agua de tal manera que difieran uno del otro en 2%.
- Para el método A y B se usará aproximadamente 2.3 kg de suelo tamizado, para el método C se empleará aproximadamente 6 kg. Luego adicionar agua según lo mencionado líneas arriba.

- Para el proceso de compactación, primeramente, se registrará el peso del molde y la placa base, así como también se registrará el volumen real del molde.
- Compactar el espécimen en cinco capas y la cantidad de golpes, peso del martillo compactador, y el diámetro de molde se hará de acuerdo al método empleado (ver Tabla 3). cada capa deberá tener el mismo espesor. se colocará el suelo suelto dentro del molde y se extenderá en una capa de espesor uniforme. La quinta capa compactada se extenderá en más de 6mm de la parte superior del molde.
- Después de la compactación de la última capa, remover el collar, se utilizará la regla enrasadora para remover el material sobrante o que está por encima del filo del molde, se rellenará cualquier vacío con el suelo no empleado.
- Se registra el peso del espécimen más el molde con aproximación al gramo.
- Se removerá el material del molde y se obtendrá una porción representativa para determinar el contenido de humedad, la cantidad será como mínimo de 500 g.

Cálculos

- El contenido de agua se hará mediante la siguiente ecuación.

$$\%W = \frac{\text{Peso del suelo humedo} - \text{peso del suelo seco}}{\text{peso del suelo seco}} \times 100 \quad (4)$$

- El peso unitario húmedo se hará mediante la siguiente ecuación.

$$\gamma_h = \frac{(\text{peso del molde y base} + \text{suelo compactado}) - \text{peso del molde}}{\text{volumen del molde}} \times 100 \quad (5)$$

- El peso unitario seco se hará mediante la siguiente ecuación.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + w/100} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

γ_h = peso unitario húmedo (densidad húmeda).

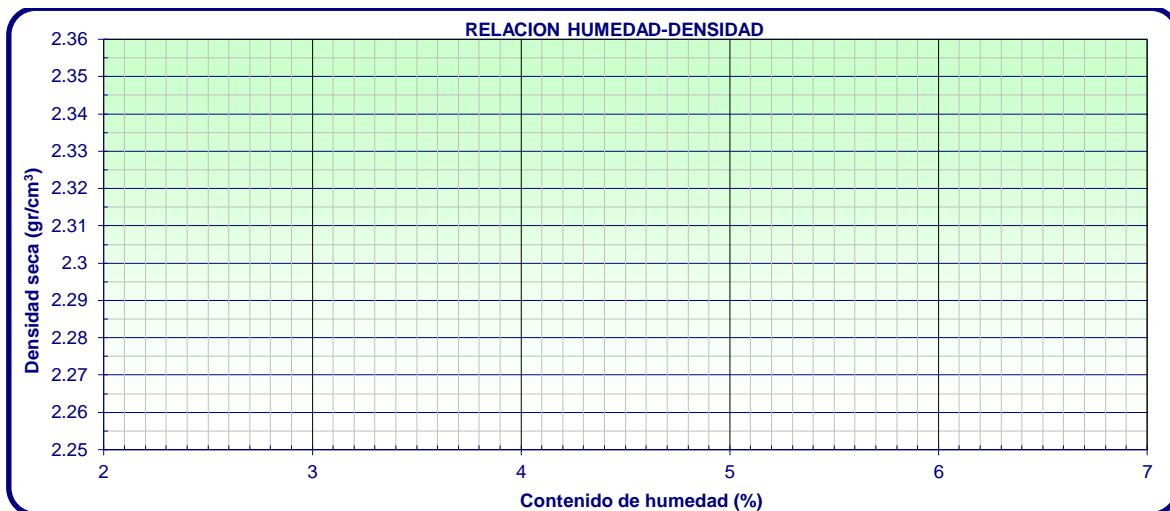
γ_d = peso unitario seca (densidad seca).

w = Contenido de humedad expresado en porcentaje.

Se graficarán los resultados en el siguiente gráfico:

Figura 3

Gráfico del ensayo de Proctor Modificado



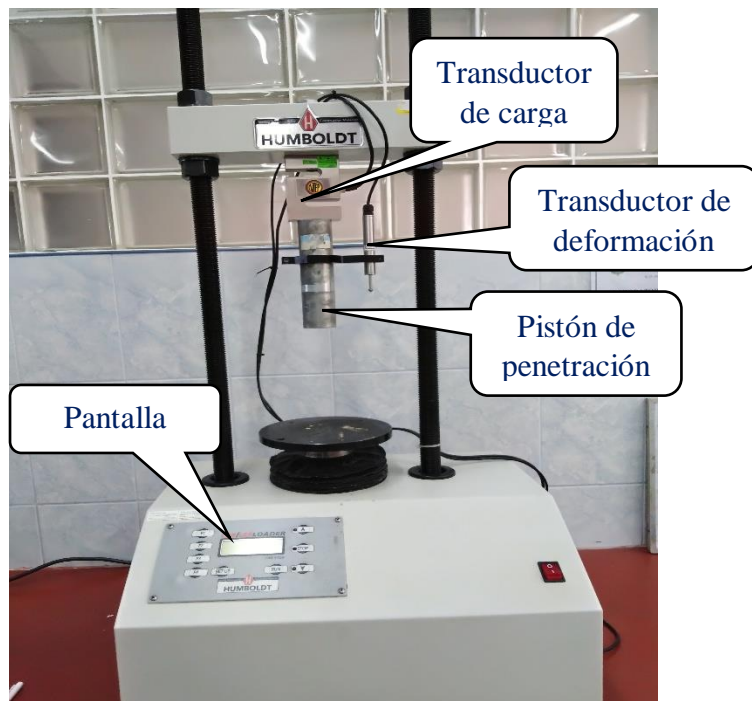
Nota. Gráfico de relación de humedad (%) – densidad (gr/cm^3) del ensayo de Proctor modificado
Fuente: elaboración propia.

Ensayo de CBR en laboratorio.

El procedimiento para el ensayo se hará siguiendo el procedimiento de la norma del MTC E 132 (CBR en laboratorio).

Equipos:

- Prensa manual o automática. El desplazamiento entre la base y el cabezal deberá tener una velocidad uniforme de 1.27 mm por minuto. La capacidad de la prensa debe de ser de 44,5 kN (10000 lbf). Deberá contar con acoplamiento para un transductor de desplazamiento con aproximación a 0.01 mm y con un recorrido de 25.4 mm.

Figura 4*Equipo CBR*

Nota. Equipo CBR automático marca Humboldt

Fuente: Elaboración propia

- Molde cilíndrico de acero, con un diámetro interior de $152.4 \text{ mm} \pm 0.66 \text{ mm}$ y de altura de $177.8 \pm 0,46 \text{ mm}$, provisto de un collar de 50.8 mm altura y una placa de base perforada de 9.53 mm de espesor.
- Tamices N°4 y $\frac{3}{4}$ de pulgada
- Un martillo de 4.54 kg (10 libras), con las mismas características descritas en el ensayo de Proctor modificado.
- Un disco espaciador de acero en forma circular de 150.8 mm de tal manera pueda ser insertado al molde cilíndrico de compactación
- Regla enrasadora, con las mismas características descritas en el ensayo de Proctor modificado.
- Papel filtro.
- Estufa (horno) capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Balanzas electrónicas de 1 gr de sensibilidad y 0.1 gr de sensibilidad.
- Misceláneos de uso general, combillo de goma, probetas de 500 ml, espátulas, etc.

Para la expansión:

- Placa de metal perforada y vástago con tornillo en el centro regulable a la altura deseada, la placa deberá tener perforaciones que no excedan los 1.6 mm y deberán estar distribuidos en distancias iguales.
- Trípode, cuyas patas deben de apoyarse en el borde del molde
- Extensómetro (deformímetro) análogo o digital con lecturas de 0.01 mm, montado sobre un trípode, con un recorrido de 25.4 mm.
- Pesas anulares y ranuradas de metal, cada una con pesos de $2,27 \pm 0,02$ kg, deberán de tener 149,23 mm a 150,81 mm en diámetro; además de tener la pesa anular un agujero central de 53,98 mm de diámetro.
- Tanque con capacidad suficiente para inmersión de especímenes

Procedimiento

- Preparación de la Muestra: Se procede como se indica en las normas mencionadas (Proctor modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pasa por el tamiz de 19.1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (3/4") es superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19.1 mm (3/4") y de 4.75 mm (N°4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.
- Se seca la muestra al aire libre. Luego se tamiza por la malla 3/4" y separamos unos 15 a 20 kg. En nuestro caso fue 18kg.
- Se procederá a pesar la muestra, cada una deberá tener 6kg de muestra.

- Agregarle la humedad óptima del ensayo de Proctor modificado a cada muestra, luego remover de tal manera que la muestra quede uniforme en humedad y quedando lista para realizar la compactación.
- Se coloca un disco espaciador en la base del molde, se coloca encima del disco un papel filtro, y se procede a compactar la muestra en cinco capas, se compactará cada molde con 56, 25 y 12 golpes.
- Luego terminado la compactación con el martillo compactador del primer molde se retira el collarín (anillo superior), luego se enrasa el material sobrante, rellenando cualquier vacío dejado al momento de enrasar hasta dejar una superficie lisa y uniforme.
- Se coloca un papel filtro sobre la superficie enrasada y se coloca la base metálica perforada y se invierte de posición la muestra.
- Sobre la superficie libre se coloca otro papel filtro y se montará el platillo con el vástago fijo.
- Sobre la placa para expansión se colocará las pesas ranuradas de 2.27 kg. La cantidad de las pesas ranuradas a colocar dependerán del espesor de capas que estarán por encima de la capa en estudio.
- El trípode con el deformímetro se coloca sobre el borde del molde y se ajusta de tal manera que el vástago de la placa de hinchamiento haga contacto con el deformímetro. Se registrará la lectura inicial.
- Con las pesas de sobrecarga se sumergen los moldes en un tanque de agua, se coloca el trípode con el extensómetro montado y se deja en saturación por 4 días en caso de suelos arcillosos o fino, y en caso de suelos granulares el tiempo de inmersión será hasta que no se registre aumento de volumen de la muestra. Las

lecturas hinchamiento se registran cada 24 horas. Para determinar la expansión se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\%Expansión = \frac{L2 - L1}{127} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

L1 : lectura inicial en mm

L2 : lectura final en mm

- Después de la etapa de saturación de la muestra durante cuatro días, se deja drenar el agua, volteándola y sujetando la placa de hinchamiento y las pesas por un periodo de 15 minutos.
- Se retiran las placas de hinchamiento conjuntamente con las pesas y el papel filtro, y se pesan las muestras.

Resistencia a la penetración

- El molde con la muestra y la sobrecarga anular y ranurada se coloca sobre la base la prensa y se ajusta de tal manera que el pistón de penetración este centrado y haga una carga de asiento sobre la muestra de 5 kg aproximadamente.
- El equipo tiene un transductor, el cual nos da valores de carga y el otro transductor nos da los valores de deformación, este último se calibra en cero.
- La penetración del pistón se da a una velocidad constante 0.05 pulgadas por minuto.
- Las lecturas a registrar se harán según el siguiente cuadro.

Tabla 4

Valores asignados para el ensayo de CBR

Milímetros	Pulgadas	esfuerzo patrón correspondiente
0.63	0.025	
1.27	0.050	
1.90	0.075	
2.54	0.100	1000 lb/pulg ² o 70.5 kg/cm ²

3.17	0.125	
3.81	0.150	
5.08	0.200	1500 lb/pulg ² o 105.7 kg/cm ²
7.62	0.300	
10.16	0.400	
12,70	0.500	

Nota. Valores de penetración y la carga patrón correspondiente a una piedra triturada. Fuente: MTC (2016).

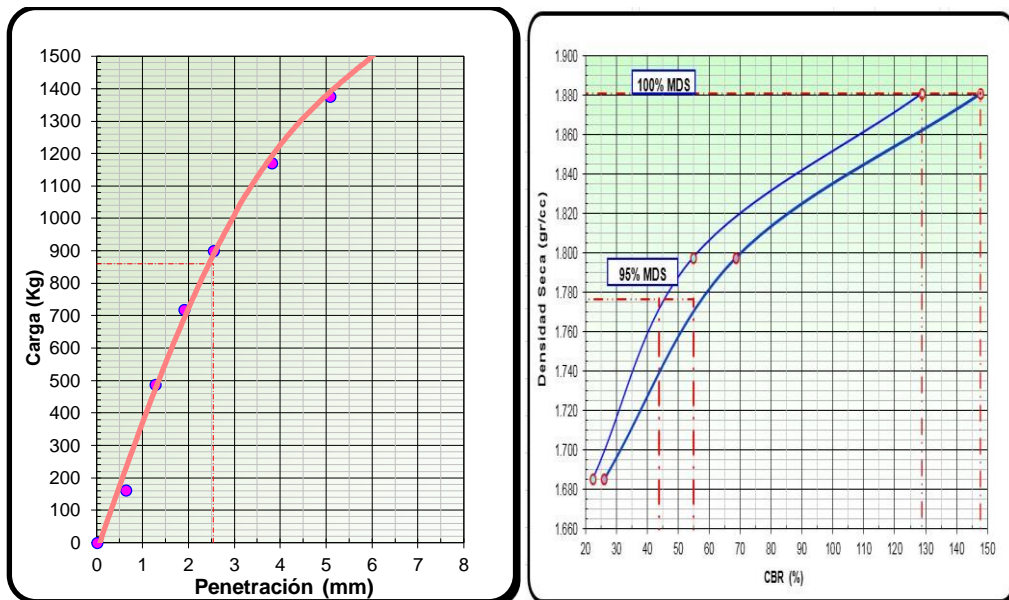
- La fórmula del CBR es el siguiente:

$$CBR = \frac{\text{Resistencia a la penetración (psi) requerida para penetrar 0.1 pulg}}{\text{resistencia patrón (1000 lb/pulg}^2)} \times 100 \quad (8)$$

- Una vez obtenidos los valores, se grafica la curva densidad seca vs. CBR. El valor de CBR será al 100% de la densidad máxima seca del ensayo de Proctor Modificado.
- Se grafican los datos obtenidos de carga-penetración.

Figura 5

Gráfico penetración vs carga – CBR



Nota:

Lado izquierdo gráfico penetración vs carga - lado derecho densidad seca vs CBR a 12 golpes, 25 golpes y 56 golpes. Fuente propia.

2.2.1.2. Procedimiento para determinar el valor de CBR de un material de cantera adicionado con ACR.

Ubicar escombros de concreto.

Se ubicará calles, avenidas, pasajes en demolición, para de esta manera obtener escombros de concreto. Se procederá a reducir los bloques de concreto a tamaños menores para su fácil transporte a las trituradoras de agregados.

Obtención del agregado de concreto reciclado (ACR).

Los bloques de concreto son llevados a las trituradoras (chancadoras), para de esta manera obtener un nuevo agregado conocido como agregado de concreto reciclado de tamaño menores a 2 pulgadas de diámetro. La cantidad de muestra a obtener dependerá de los ensayos a realizarse y las combinaciones propuestas.

Muestreo de ACR.

Se determinará siguiendo el mismo procedimiento del muestreo de material indicado en el ítem cantera del 2.2.1.1

Homogenizar el material

Se determinará siguiendo el mismo procedimiento indicado en el ítem 2.2.1.1

Establecer las proporciones de las adiciones de cantera natural y ACR.

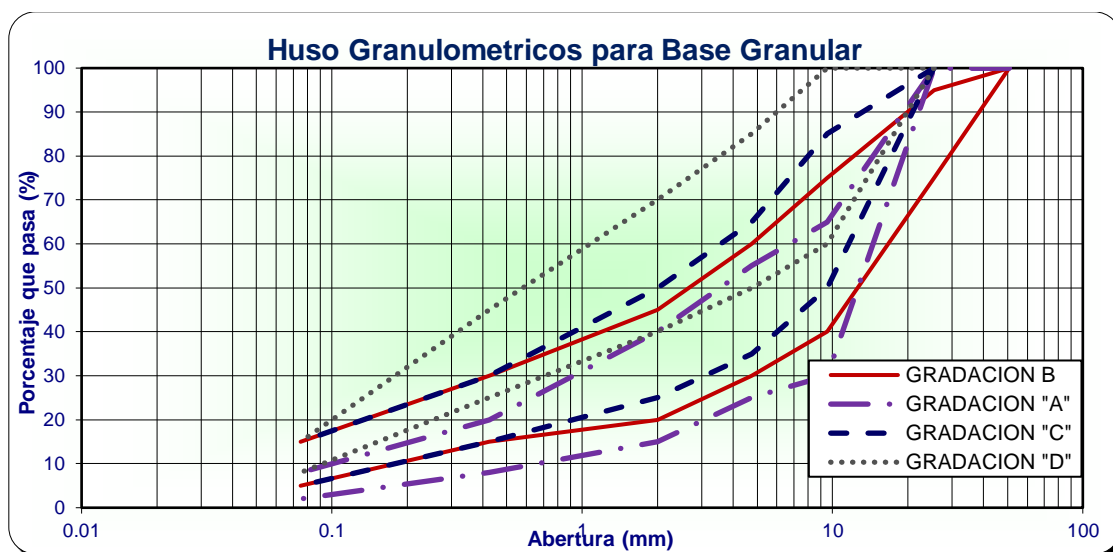
Para establecer las proporciones a emplear tanto de cantera natural como de ACR, se tomó como referencia la gradación del material obtenida de la cantera y la gradación requerida según la EG 2013. Para la presente investigación se adoptó la gradación “B”, puesto que es el más exigente en comparación con la gradación C y D. No se empleó la gradación “A”, puesto este tipo de gradación es más exigente y la norma obliga su uso en altitudes mayores a los 3000 msnm.

Tabla 5*Requerimientos para base granular en pavimentos*

Tamiz	% que pasa			
	Gradación A (*)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 - 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N° 4)	25 - 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 - 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 -15	8 – 15

Nota: Se observa la gradación para base y sub base granular. (*) La curva de gradación "A" se empleará en zonas cuya altitud sea mayor a 3000 m.s.n.m.

Fuente: MTC (2013).

Tabla 6*Husos Granulométricos para Base Granular*

Nota: Husos Granulométricos máximos y mínimos usados para una base granular en un pavimento.

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayo de Análisis granulométrico por tamizado

Se determinará según el procedimiento del ensayo de análisis granulométrico por tamizado según el ítem 2.2.1.1.

Ensayo de compactación Proctor modificado

Se determinará según el procedimiento del ensayo de Proctor modificado según el ítem 2.2.1.1.

Ensayo de CBR

Se determinará según el procedimiento del ensayo de CBR descrito en el ítem 2.2.1.1

2.2.2. Índice de Plasticidad

2.2.2.1. Procedimiento para determinar el Índice de plasticidad de la muestra de cantera

Para determinar la plasticidad de un suelo, se hace mediante los límites de Atterberg; límite líquido (LL), Límite Plástico (LP).

De la muestra preparada y homogenizada del ítem 2.2.1.1, se procede a obtener una muestra representativa requerida en el ensayo para luego proceder con los ensayos de laboratorio que a continuación se describen.

Ensayo de Límite Líquido

Se procederá de acuerdo a la norma del MTC E 110, que describe el procedimiento de ensayo para la determinación de límite líquido.

Equipos:

- Recipiente de porcelana de 115 mm de diámetro.
- Aparato de límite líquido, manual o motorizado.
- Acanalador o ranurador.
- Calibrador de altura 10.0 ± 0.2 mm.
- Recipientes
- Balanza electrónica con sensibilidad de 0.01 g.

- Estufa con sistema de convección forzada, controlado por un panel digital de temperatura, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C para el secado de muestra.

Tabla 7

Equipos para el ensayo de Limite Liquido



Nota: (a) Copa de Casagrande (b) mortero y recipiente de porcelana, (c) pipeta, (d) recipientes de secado de muestras, (e) malla N°40, (f) balanza de 0.01 g, (g) ranurador tipo J, espátula
Fuente: Elaboración propia.

Muestra:

- Se obtiene una muestra representativa de la muestra, de tal manera pueda proporcionar 150 o 200 g pasante la malla N° 40 (425 μ m)

Procedimiento:

Método multipunto

- Colocar la proporción de suelo en el dispositivo de límite líquido en el punto donde la copa descansa, presionándola y esparciéndola en toda la copa hasta llegar a una profundidad de 10 mm y formando una superficie horizontal.
- Se divide en la parte central la muestra contenida en la copa con el acanalador.
- Se registra el número de golpes N, necesarios para cerrar la ranura (12.7mm)

- Se realizar 03 pruebas de tal manera que la primera prueba cierre en el rango de golpes 25 a 35 golpes, la segunda prueba 20 a 30 golpes y la tercera prueba 15 a 25 golpes. Se determinará el contenido de humedad de cada espécimen sacado con la siguiente ecuación.

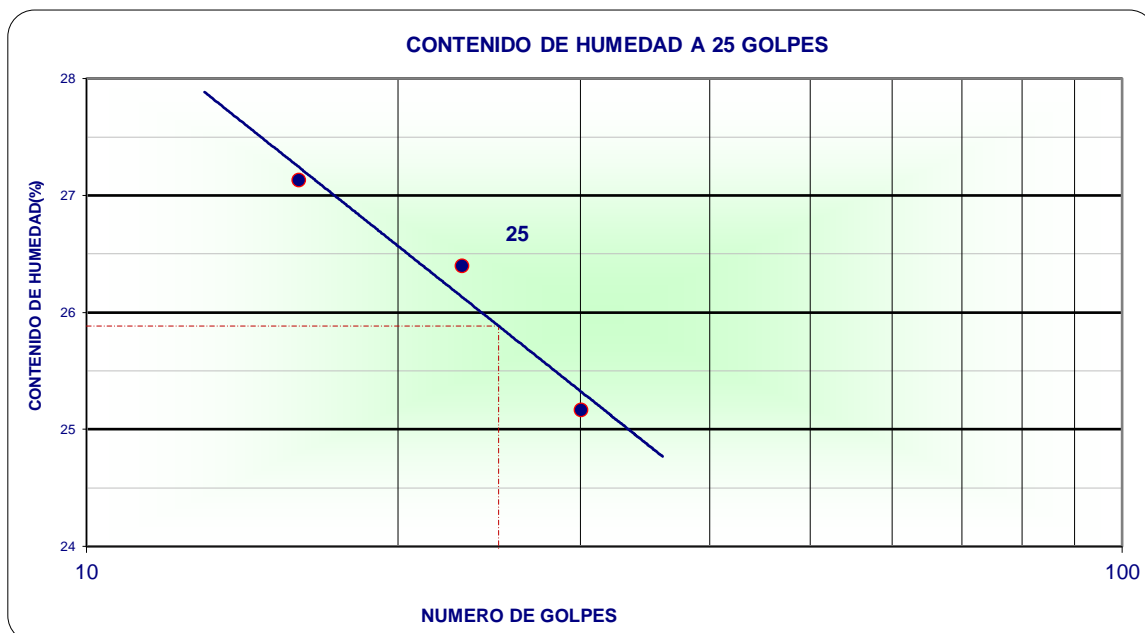
$$W (\%) = \frac{\text{peso del suelo humedo} - \text{peso del suelo seco al horno}}{\text{peso del suelo seco al horno}} \times 100 \quad (9)$$

El límite líquido viene a hacer el contenido de humedad del suelo expresado en porcentaje, se representan gráficamente en papel cuadrículado semilogarítmico, en el eje de las abscisas se encuentra el número de golpes y en las ordenadas corresponde a la humedad. El límite líquido corresponde al contenido de humedad correspondiente a los 25 golpes, determinado a partir de la curva de flujo.

El reporte del resultado de límite líquido será un número entero.

Figura 6

Gráfico del ensayo de límite líquido



Nota: El valor de límite líquido corresponde al contenido de humedad correspondiente a los 25 golpes.

Límite plástico

La muestra requerida para este ensayo se hará con la muestra sobrante del límite líquido descrito anteriormente.

Equipos

- Vidrio esmerilado
- Espátula
- Balanza de 0.01 gr
- Recipiente de porcelana
- Recipiente de secado
- Estufa con sistema de convección forzada controlado por un panel digital de temperatura, capaz de conservar una temperatura de trabajo de 110 ± 5 °C.
- Varilla comparador de 3.2 mm

Figura 7

Ensayo de límite plástico



Nota: (a) Balanza de 0.01 g, (b) recipientes de secado de muestras, (c) recipiente de mezclado, (d) vidrio esmerilado, (e) varilla comparadora.

Fuente: Elaboración propia.

Muestra

- Material pasante la malla N° 40 ($425 \mu\text{m}$)

Procedimiento

- Se moldea parte de la muestra en forma de elipsoide y, se rueda con los dedos de la mano sobre el vidrio esmerilado, aplicando la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro de 1/8 pulgada (3,2 mm) de diámetro no se ha desmoronado, se vuelve a repetir el proceso cuantas veces sea necesario, hasta lograr que se fisure o desmorone aproximadamente con dicho diámetro.
- Se registra el peso húmedo y se llevan al horno hasta obtener una masa constante.
- Se registra el peso seco.

Cálculos

$$LP = \frac{\text{peso del suelo humedo} - \text{peso del suelo seco al horno}}{\text{peso del suelo seco al horno}} \times 100 \quad (10)$$

Índice de plasticidad

Se define como la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP \quad (11)$$

Donde:

LL : Límite líquido.

LP : Límite plástico.

IP : Índice de plasticidad.

Los valores de LL, LP y IP, se reportan como números enteros.

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinar mediante el ensayo, entonces el índice de plasticidad se reportará como no plástico (NP).

Asimismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor al límite líquido, se reportará el índice de plasticidad como no plástico (NP).

2.2.2.2. Índice de plasticidad de la muestra de cantera con adición de ACR

De la muestra obtenida de la combinación de material de cantera y ACR descrito en el ítem 2.2.1.2, se procede a extraer una muestra representativa para el desarrollo de los

ensayos para determinar el índice de plasticidad. Se hará siguiendo el procedimiento descrito del ítem 2.2.2.1.

2.2.3. *Equivalente de Arena del material de cantera*

Procedimiento para determinar el valor de equivalente de arena

De la muestra homogenizada del material de cantera descrito en el ítem 2.2.1.1, se procede a obtener una muestra representativa para luego proceder con el ensayo, a continuación se describe.

Se hará según el manual del MTC E 114, dicha norma establece el procedimiento para determinar el valor de equivalente de arena de los suelos:

Equipos:

- Probeta o cilindro graduado acrílico transparente.
- Tapón jebe, tubo irrigador, ensamble del sifón,
- Dispositivo de pesado de pie.

Materiales:

- Lata de medición de capacidad de 85 ± 5 ml.
- Tamiz N° 4 (4.75 mm).
- Embudo de boca ancha, para ingresar de muestras a las probetas.
- Recipientes o botellas de capacidad de 1 gal. para almacenaje de la solución de Stock.
- Cronometro

Insumos:

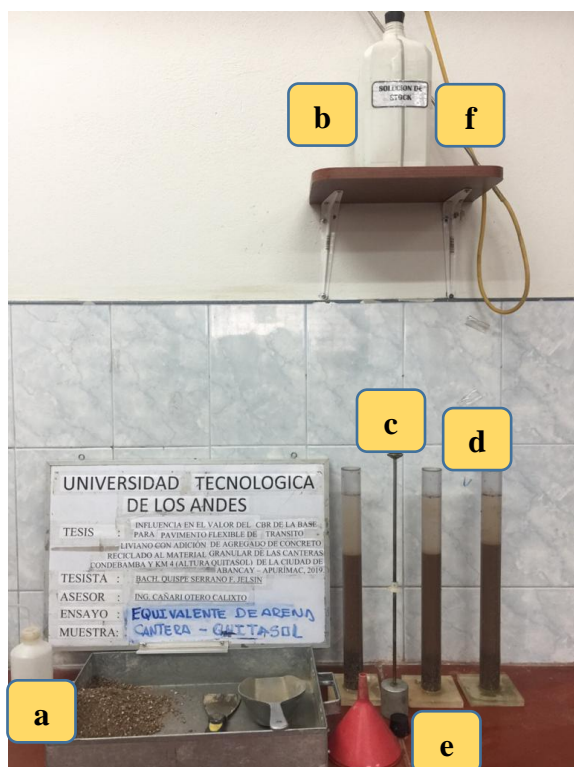
- Solución de stock (cloruro cálcico anhidro, Glicerina USP, formaldehído, agua destilada)
- La solución de trabajo, se prepara mezclando 85 ± 5 ml de solución de Stock por un galón de agua desmineralizada.

Muestra:

- Se tamizará la muestra por la malla N° 4 y se obtendrá como mínimo un peso de 1500 g.

Procedimiento: preparación de muestra:

- A la muestra se le deberá añadir humedad, de tal manera se encuentre en la condición de libre flujo.
- Con el recipiente de medida (85±5 ml), tomar cuatro medidas de la muestra, una vez llenada la muestra en el recipiente, golpearla sobre una superficie dura y sacudirlo ligeramente para que la muestra se consolide.
- Determinar y registrar la cantidad de material contenido en esas cuatro medidas por peso o volumen.

Figura 8*Ensayo de equivalente de arena*

Nota: (a) Muestra preparada, (b) solución de trabajo, (c) dispositivo de pesaje de pie, (d) cilindros graduados, (e) tapón de jebe, cono, (f) manguera y tubo irrigador.

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento operatorio:

- Colocar el recipiente de la solución de trabajo a una altura de tal manera que el nivel de agua trabaje 91 cm y 117 cm de la superficie de trabajo.
- Llenar de agua cada probeta hasta una altura de 4 in. (102 ± 3 mm) indicado en la probeta. Verter cada uno de los especímenes en el cilindro de plástico correspondiente mediante un embudo y golpear ligeramente la base del cilindro con la palma de la mano, de tal manera liberar el aire y conseguir un humedecimiento total de la muestra.
- Mantener el espécimen humedecido en el cilindro por 10 ± 1 min.
- Después del periodo de humedecimiento, aflojar el material invirtiéndolo el cilindro y agitando suavemente.
- Para el proceso de agitación se hará por el método manual, que consiste en:
Primeramente, asegurar el cilindro con el tapón de jebe. Sostener el cilindro en posición horizontal y sacudir de extremo a extremo en forma horizontal.
- Se hará un total de 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos, tendrá un recorrido de 23 ± 3 cm. Se considera un ciclo como una ida y vuelta. Terminado el proceso de agitación, se colocará el cilindro en la mesa de trabajo para luego continuar con el proceso de irrigación.
- Para el proceso de irrigación, se mantendrá la base del cilindro en la mesa de trabajo, se colocará el tubo irrigador en el fondo del cilindro, se forzarán aplicando acciones de punzonamiento y giro mientras la solución de trabajo fluye a través del tubo irrigador. El proceso se hará hasta que el nivel de líquido llegue a la altura de 15 pulgadas.
- Se mantendrá el cilindro y su contenido disturbado durante 20 min. ± 15 segundos

- Al final de los 20 min. se registrará el nivel superior de la arcilla (material en suspensión), a esto se refiere como “lectura de arcilla”
- Después de registrar la lectura de arcilla coloque el dispositivo de pesado de pie sobre el cilindro y baje lentamente hasta que descansa sobre la arena. Lectura el nivel de arena.

Cálculos:

- El equivalente de arena se define como:

$$\text{Equivalente de Arena} = \frac{\text{lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100 \quad (12)$$

- Se reportará como el número entero superior.

Equivalente de arena del material de cantera más adición de ACR

Se tomará una muestra representativa de la muestra combinada y prepara de la combinación del ACR y la cantera natural. Se procederá siguiendo el mismo procedimiento descrito en el ítem 2.2.3

2.2.4. Determinación de las proporciones óptimas

Para la determinación de las proporciones óptimas, se basará en función a los requerimientos o exigencias del material para base en pavimentos. Dichas normativas a los que nos basaremos serán las especificaciones generales para la construcción de carretera EG 2013, y el Reglamento Nacional de Edificaciones A0-10 pavimentos urbanos.

2.2.4.1. Requerimientos de CBR para base granular

Las características mecánicas del material granular para ser empleado como base granular en pavimentos deberá cumplir con las siguientes características:

Tabla 8

Características del CBR según MTC

Relación de soporte california (CBR)	Tráfico en ejes equivalentes < 1000000	Mín. 80%
		Tráfico en ejes equivalentes ≥1000000

Nota. valores de CBR mínimos en función a tráfico en ejes equivalentes.

Fuente: MTC (2013)

Tabla 9

Características del CBR según el Reglamento de Nacional de Edificaciones

Relación de soporte californiana (CBR)	Vías colectoras y locales	Mín. 80%
	Vías arteriales o expresas	Mín. 100%

Nota: Valores de CBR mínimos en función al tipo de vía.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017)

2.2.4.2. Requerimientos para el agregado grueso

Para los materiales retenidos en la malla N° 4 (4.75 mm). Las exigencias que deben cumplir, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 10

Requerimiento para el agregado grueso para bases granular

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos Altitud	
				< 3000 msnm	> = 3000 msnm
Partículas con una caras fracturada	MTC E 210	D 5821		80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas		D4791		15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888		0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104		18% máx.

Nota: Resumen de ensayos requeridos para agregado grueso para base en carreteras y pavimentos.

Fuente: MTC (2013)

2.2.4.3. Requerimientos para el agregado fino

Para los materiales pasantes la malla N°4 (4.75 mm). Las exigencias a cumplir para este material se resumen en la siguiente tabla:

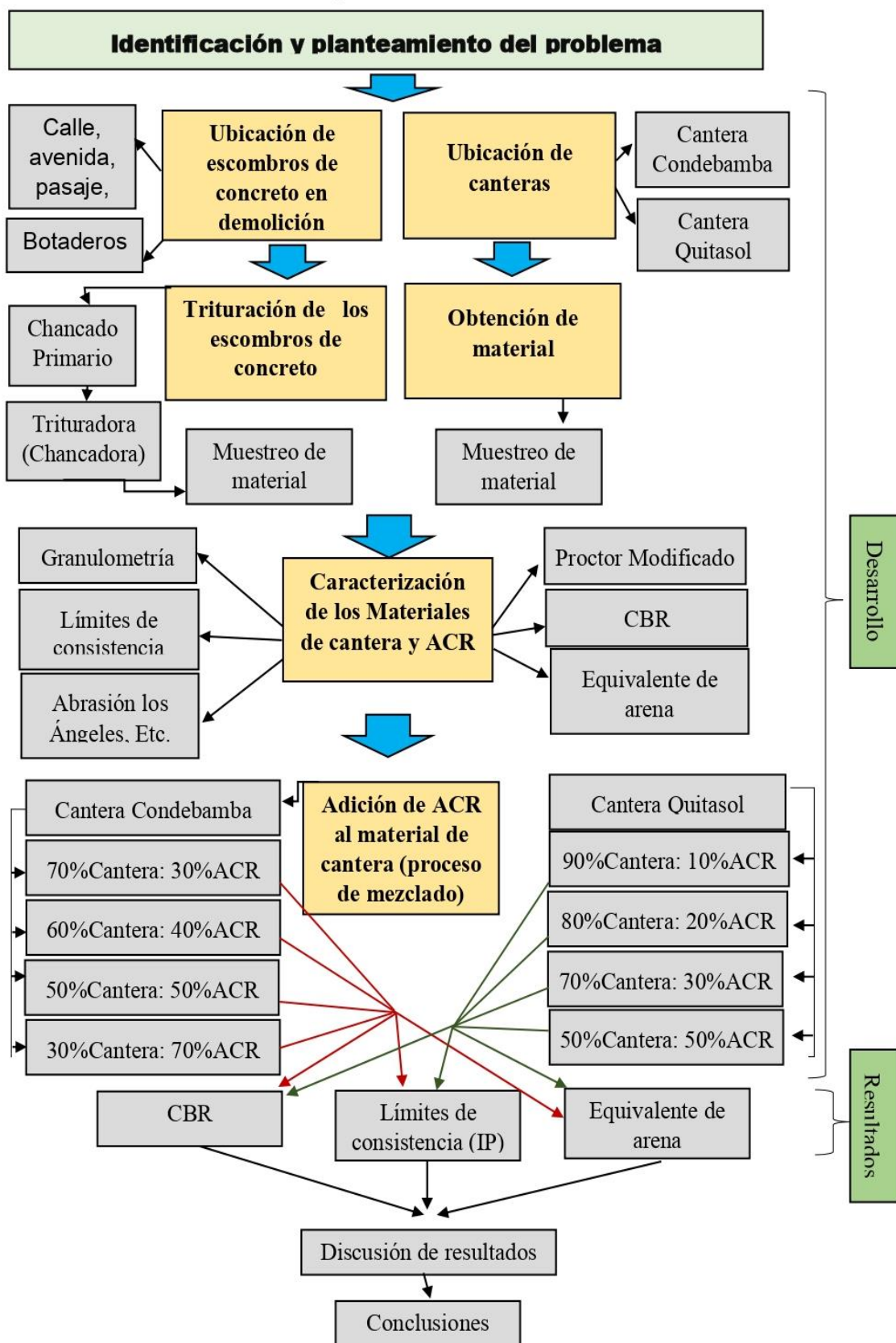
Tabla 11*Requerimiento del agregado fino para la base granular en pavimentos*

Ensayo	Norma	Requerimientos altitud	
		< 3000 msnm	> = 3000 msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% máx.	2% mín.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	-----	15%

Nota: Resumen de ensayos requeridos para agregado fino para base en carreteras y pavimentos.

Fuente: MTC (2013)

2.2.5. Procedimiento de la investigación



Fuente: Elaboración propia.

2.3. Marco conceptual

Agregado

“Conjunto de fragmentación de rocas ya sea de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados según la norma técnica peruana NTP. Se le denomina también áridos” (NTP 400.011, 2008).

“Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.037”.

Agregado de concreto reciclado

“La administración federal de carreteras (FHWA), limitó la definición de agregado de concreto reciclado (RCA) al subproducto de pavimentos de concreto Portland viejo, de puentes, de banquetas, cunetas y canales” (Ellis et al., 2014).

En la revista “Cement Concrete & Aggregates” de Australia, se describe el agregado de concreto reciclado como: “Agregado grueso producto del disgregado de residuo de demolición con 95% en peso del concreto y que tiene un nivel de contaminante menor a 1% con respecto a la masa total”.

Base

“Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento” (MTC, 2013).

“La capa de base, generalmente granular es una capa que se apoya sobre la subbase. La función de esta capa es transmitir los esfuerzos provenientes del tráfico a la subbase y subrasante” (Minaya Ordoñez, 2006)

CBR (California Bearing Ratio)

Es comúnmente usado para obtener un índice de la resistencia del suelo de la subrasante, material de base, sub base o afirmado. (...) Es la relación expresada (en porcentaje) entre la resistencia a la penetración requerida para que un pistón de 3 pulg^2 de área penetre 0.1 pulg dentro de un suelo entre 1000 psi que es la resistencia de la muestra patrón. La muestra patrón es una piedra chancada (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 7).

El CBR es un ensayo estático o de baja velocidad, se utiliza para evaluar la calidad de un material de suelo desde el punto de vista en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala (...). A pesar de sus múltiples limitaciones, el ensayo de CBR es uno de los ensayos más extendidos y aceptados en el mundo debido al relativo bajo costo de ejecución (si se compara con ensayos Triaxiales), y a que está asociado a un número de correlaciones y métodos semiempíricos de diseño de pavimentos (Sánchez, 2018).

“Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo” (MTC, 2013).

Concreto de demolición

“Es el término genérico aplicado a los fragmentos de concreto obtenidos por demolición de elementos de las construcciones civiles de concreto (simple o armado) y de pavimentos de concreto. Además, incluye al concreto de los excedentes de obra” (NTP 400.050, 1999, p. 2).

Contenido de humedad

“La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas” (MTC, 2016, p. 91).

Compactación

La compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica (...). se le agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace de se deslicen entre si y se muevan a una posición empaque más denso (Braja, 2012).

Equivalente de arena

El termino equivalente de arena transmite el concepto que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezcla de partículas gruesas, arenas y generalmente finos. (...) El equivalente de arena es la relación de la altura de la altura respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 11).

El término “equivalente de arena”, expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables. [...] Este método de ensayo provee un método rápido de campo para determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación (MTC, 2016, p. 91)

“Es la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en los suelos o agregados finos” (MTC, 2014, P. 31).

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyente, clasificados en función de su tamaño (MTC, 2014, P. 30).

Limite líquido

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitariamente, se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo

se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo. (NTP 339.129, 2014, p.3).

Limite plástico

Es el contenido de humedad expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite de dos estados plástico y semisólido. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad más bajo por el cual el suelo puede ser rolado en hilos de 3.2 mm (1/8 pulg) sin que se rompan a pedazos (NTP 339.129, 2014, p.3).

Índice de plasticidad

“Es la diferencia entre el limite líquido y el limite plástico de un suelo” (Braja, 2012)

Material de cantera

“Es aquel material de características apropiadas para su utilización en las diferentes partidas de construcción de obra, que deben estar económicamente cercanas a las obras y en los volúmenes significativos de necesidad de la misma” (MTC, 2013).

Plasticidad

“Es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto, la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos” (Suelos Geología Geotecnia y pavimentos MTC, 2014, P. 31).

Pavimento

Minaya y Ordóñez (2006) “El pavimento es la estructura que se apoya sobre el terreno de fundación o subrasante, y que está conformado por capas de materiales de diferentes calidades y espesores, que obedecen a un diseño estructural” (p. 1).

“El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por lo vehículos” (Suelos Geología Geotecnia y pavimentos MTC, 2014, P. 21).

Pavimento flexible

“El pavimento flexible es una estructura compuesta por varias capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos” (Suelos Geología Geotecnia y pavimentos MTC, 2014, P. 21).

Pavimento rígido

El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante, esta capa puede ser granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante” (Suelos Geología Geotecnia y pavimentos MTC, 2014, P. 21).

Capítulo III

Metodología de investigación

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis general*

La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de CBR, índice de plasticidad y equivalente de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano en la ciudad de Abancay – Apurímac 2019.

3.1.2. *Hipótesis específicas*

- a) La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.
- b) La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.
- c) La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

3.2. Método

3.2.1. Método de la investigación

El método empleado en la presente investigación es el método deductivo, según Buendía et al. (2006) “Método deductivo es aquel que parte de datos generales aceptados como válidos para llegar a una conclusión de tipo particular”. (p. 5). En ese sentido, la investigación va partir de conocimiento generales de la geotécnica y mecánica de suelos, a la aplicación de métodos de mejoramiento de suelos de canteras con adición de ACR para ser usados en bases en pavimentos flexibles.

Tiene una orientación de investigación aplicada según Tamayo (2004), menciona que: “Es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías” (p. 43), depende de sus descubrimientos y aportes teóricos. En ese sentido la investigación es aplicada porque depende de los aportes de otras investigaciones, y tiene como aplicación directa al mejoramiento del material de cantera.

La investigación tiene enfoque cuantitativo, según Hernández et al. (2014) Es de enfoque cuantitativo porque es “secuencial y probatorio, cada etapa es precedente y no es posible eludir pasos. Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis en base a una medición numérica”. Por ende la presente investigación tiene enfoque cuantitativo, porque para la prueba de hipótesis se hizo en base a los datos obtenidos de los resultados de las distintas adiciones que se planteó a las canteras y el agregado de concreto reciclado

3.3. Tipo de investigación

La presente investigación corresponde a la correlación, es por eso que “Los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular, en ocasiones se analiza la relación entre dos variables” (Hernández et al., 2014, p. 93).

La investigación corresponde al alcance correlacional, ya que muestra las relaciones entre la variable independiente que corresponde al agregado de concreto reciclado (ACR) y la dependiente que corresponde al valor de CBR, índice de plasticidad y equivalente de arena. Se analizó y comprobó la influencia de la variable independiente sobre la dependiente.

3.4. Nivel o alcance de la investigación

La presente investigación corresponde a un nivel relacional y explicativo:

Será nivel relacional porque su finalidad es conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto específico.

Según Hernández (2014), los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. (...) Se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (p. 95).

En base a los ensayos de laboratorio, se explicará cómo influye la adición de agregado de concreto reciclado al material granular de las canteras en estudio en sus propiedades físico mecánicas.

3.5. Diseño de la investigación

La investigación desarrollada corresponde a un diseño experimental debido a que “se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué cauda se produce una situación o acontecimiento particular”. (Tamayo, 2003, p. 47).

“Los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula. Pero, para establecer influencias” (Hernández et al., 2014, p. 130).

En la presente investigación se consideró un diseño experimental, porque existe la manipulación de variables, en el caso la presente investigación, se manipuló la adición de ACR en diferentes proporciones en el material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol, para experimentar los cambios en el valor de CBR, índice de plasticidad, equivalente de arena

3.6. Operacionalización de variables

Variable independiente: Adición de agregado de concreto reciclado (ACR).

Variable dependiente: CBR, índice de plasticidad, equivalente de arena.

Tabla 12
Operacionalización de variables

Variable	Concepto científico	Concepto operacional	Dimensiones	Indicadores
Independiente	“subproducto de pavimentos de concreto Portland viejo, de puentes, de banquetas, cunetas y canales” La administración federal de carreteras (FHWA)			
Agregado de Concreto Reciclado	“El árido reciclado obtenido del tratamiento de residuos pertenecientes a la clase A, compuesto en su fracción de al menos el 90% en masa de fragmentos a base de cemento Portland y rocas. Su composición debe determinarse de acuerdo con el Anexo A y cumplir con los requisitos de aplicaciones específicas” (ABNT NBR 15116, 2004)	Adición de ACR al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol.	Cantidades de ACR	peso
Dependiente				
CBR	El CBR, es un índice de resistencia de los suelos denominado valor de relación soporte, conocido como CBR (California Bearing Ratio), de soporte de los suelos. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de sub rasantes y las capas de base, sub base y afirmado. (MTC E 132,2013)	Según Minaya y Ordóñez (2004) lo define como la relación entre el esfuerzo necesario para penetrar un pistón penetre 2.54 mm (0.1 pulg) en la muestra y el esfuerzo patrón que corresponde a una piedra triturada 70.5 kg/cm ² (1000 lb/pulg ²) el resultado de esta medida se expresa en %.	Resistencia del suelo al esfuerzo cortante	CBR 0.1 pulg (%)
Índice de Plasticidad	“Es el rango de contenido de humedad sobre el cual un suelo se comporta plásticamente” (NTP 339.129, 2014).	Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico”. (NTP 339.129, 2014). Esta medida se expresa esta medida se expresa en %.	Índice plástico = LL - LP	IP (%)
Equivalente de Arena	El término “equivalente de arena”, expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables (MTC E 114)	El equivalente de arena es la relación de la altura de la altura respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje (Minaya y Ordóñez, 2006)	Equivalente de arena (LA)	EA (%)

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Población, muestra y muestreo

Población:

“Una vez que se ha definido cuál será la unidad de muestreo/análisis, se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Así, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Lepkowski, 2008).

La población para el desarrollo de la investigación se consideró las canteras de mayor uso para la conformación de base y sub base en pavimentos, y para el agregado de concreto reciclado aquellos pavimentos rígidos que ya cumplieron su periodo útil de diseño y que están en proceso de demolición en la ciudad de Abancay – Apurímac.

Muestra

La presente investigación se hará por el método no probabilístico, muestreo por conveniencia. “Las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización” (Hernández et al., 2014, p.189).

La cantera Condebamba y Quitasol actualmente se está utilizando como material de base de las importantes calles, avenidas de la ciudad. El agregado de concreto reciclado se obtuvo de escombros de concreto de pavimento de la Av. Venezuela – Abancay.

Para la investigación desarrollada, la cantidad de muestra se determinó de la siguiente manera:

Para la investigación, se usó el material granular de la Cantera Condebamba y la cantera Quitasol; y el agregado de concreto reciclado es tomado de la Av. Perú. La cantidad de muestra se tomó considerando la cantidad de ensayos a realizar según dadas en el EG 2013, así como también considerando el manual de ensayo de materiales, la norma técnica peruana y a la cantidad de combinaciones a realizar según la tabla siguiente:

Tabla 13

Cantidad de muestra para la Incorporación de agregado de concreto reciclado al material de cantera de Condebamba.

Cantidad de muestra kg	Adición de agregado de concreto reciclado al material de cantera de Condebamba			
	70% Condeb - - 30% ACR	60% Condeb - 40% ACR	50% Condeb - 50% ACR	30% Condeb - 70% ACR
	70	70	70	70

Nota: Cantidades de muestras aproximadas a utilizar para las diferentes combinaciones de la cantera Condebamba + ACR.

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14

Cantidad de muestra para la incorporación de agregado de concreto reciclado al material de cantera de Quitasol

Cantidad de muestra kg	Adición de agregado de concreto reciclado al material de cantera de Quitasol.			
	90% Quitasol - 10% ACR	80% Quitasol - 20% ACR	70% Quitasol - 30% ACR	50% Quitasol - 50% ACR
	70	70	70	70

Nota: cantidades de muestras aproximadas a utilizar para las diferentes combinaciones de la cantera Quitasol + ACR.

Fuente. Elaboración propia

Tabla 15

Cantidad total de muestra por canteras

Cantidad de muestra total kg	Cantera Quitasol	Cantera Condebamba	Agregado de concreto reciclado de pavimento rígido
	350	350	300

Nota: Cantidades de muestra global para la ejecución de los diferentes ensayos de laboratorio por cantera.

Fuente. Elaboración propia

Muestreo

No es aplicable a la investigación.

3.8. Técnicas e instrumentos

3.8.1. Técnicas e instrumentos empleados en la investigación

La recolección se basa en instrumentos estandarizados. Es uniforme para todos los casos. Los datos se obtienen por observación, medición y documentación. Se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos o se generan nuevos basados en la revisión de la literatura y se prueban y ajustan. Las preguntas, ítems o indicadores utilizados son específicos con posibilidades de respuesta o categorías predeterminadas (Hernández et al., 2014, p.12).

3.8.1.1. Técnicas

Observación: Se empleó la observación directa para analizar los comportamientos y dar a conocer los resultados de los ensayos realizados tanto para el material granular de cantera y para las adiciones realizadas al material de cantera con agregado de concreto reciclado.

Pruebas estandarizadas: Utilizando como referencia ensayos normados del manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, y las normas técnicas peruanas, las cuales fueron aplicadas en cada uno de los ensayos realizados en la investigación.

3.8.1.2. Instrumentos

“Recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que se tiene en mente” (Hernández et al., 2014, p.199).

Se utilizó instrumentos o formatos ensayos de laboratorio, como a continuación se detalla:

Tabla 16

Instrumentos a emplear para cada ensayo

Ensayo	Instrumento empleado	Norma técnica empleada
Granulometría	Formato de granulometría	MTC E 107

Contenido de humedad	Formato de contenido de humedad	MTC E 108
Proctor modificado	Formato de Proctor modificado	MTC E 115
CBR en laboratorio	Formato de CBR	MTC E 132
Límites de consistencia	Formato de limite líquido y limite plástico	MTC E 110 - 111
Equivalente de Arena	Formato de equivalente de Arena	MTC E 114
Abrasión los ángeles	Formato de abrasión los ángeles	MTC E 114
Durabilidad al sulfato de magnesio	Durabilidad al sulfato de magnesio	

Nota: Se muestra los instrumentos y normas a emplearse de los diferentes ensayos planteados en la investigación.

Fuente: Elaboración propia

3.9. Consideraciones éticas

En la investigación las muestras obtenidas en campo para el desarrollo de la tesis son representativas, se manipularon los datos con la mayor fidelidad, seriedad y honestidad. El trabajo desarrollado es genuino, y no es plagio o copia de investigaciones, publicaciones o trabajos semejantes presentados por cualquier persona natural o jurídica.

Se deja constancia que las citas de otros autores has sido debidamente mencionadas en el trabajo de investigación, por lo que cualquier información adquirida de medios digitales, escritos o de la internet no lo he asumido como mi autoría.

3.10. Procesamiento estadístico

Las pruebas de hipótesis, denominadas también pruebas de significación, tienen como objetivo principal evaluar suposiciones o afirmaciones acerca de los valores estadísticos de la población, los cuales se denominan parámetros. Las hipótesis se deben formular en forma correcta o lógica, pueden ser formuladas con el fin de rechazarlas de acuerdo con el análisis estadístico. (Martínez Bencardino, 2012, p. 324-325)

Para la presente investigación, se consideró hipótesis nulas y alternas, el uso de cada una de ellas depende de lo que se quiere probar, la diferencia entre ambas hipótesis se muestra a continuación.

Hipótesis nula $H_0: [\mu_x = \mu_y]$: “es aquella por medio de la cual se hace una afirmación sobre un parámetro que se va a constatar con el resultado muestral” (Martínez Bencardino, 2012, p. 328).

Hipótesis alterna $H_a: [\mu_x > \mu_y], [\mu_x < \mu_y], [\mu_x \neq \mu_y]$, : es aquella que difiere de la hipótesis nula, es decir ofrece una alternativa afirmando que la hipótesis nula es falsa. La hipótesis alterna establece que el parámetro puede ser mayor (prueba unilateral a la derecha), menor (prueba unilateral a la izquierda) o igual (prueba bilateral) de acuerdo con la propuesta hecha en la hipótesis nula. (Martínez Bencardino, 2012, p. 328)

La comprobación de las hipótesis nulas planteadas, se realizó mediante pruebas estadísticas paramétricas, haciendo uso de la distribución t “student” para diferencia entre dos medias muestrales.

3.10.1. Procedimiento utilizado en las pruebas de hipótesis

Martínez (2012), en su libro de estadística y muestreo establece el procedimiento para el desarrollo de pruebas de hipótesis, el procedimiento es el siguiente:

- Plantear la hipótesis de la investigación.
- Determinar el nivel de significancia.
- Estimar la varianza.
- Determinar la técnica y la prueba estadística.
- Determinar los valores críticos y sus regiones de rechazo.
- Calcular los datos muestrales.
- Tomar la decisión estadística de aceptar o rechazar.

A continuación, se detalla el procedimiento para el desarrollo de la prueba de hipótesis planteadas, cabe mencionar que, se probaron cada una de las hipótesis específicas para el material de base elaborados con y sin adición de ACR de las canteras en estudio.

a) Planteamiento de la hipótesis

Se consideró para la prueba de hipótesis una prueba bilateral, ya que el estudio contempla medir la influencia de la adición de ACR al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol, por tanto, se desconoce que los resultados a obtener, pues hay la posibilidad que los resultados positivos o negativos.

$$H_0 : [\mu_x = \mu_y]$$

$$H_a : [\mu_x \neq \mu_y]$$

Donde:

$$H_0 = \text{hipótesis nula}$$

$$H_a = \text{hipótesis alterna}$$

b) Nivel de significación o significancia

Las investigaciones consideran un nivel de significancia o error de 5%, siendo $\alpha=0.05$, el cual indica la probabilidad de equivocarse.

c) Estadístico

Se consideró la distribución “t” de Student para diferencia entre dos medias muestrales. El estadístico se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}} \quad (13)$$

$$t = s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (14)$$

Donde:

$$t = t_c \text{ (“t” calculado).}$$

$$\bar{x}: \text{Promedio de la muestra 1 (con adición ACR)}$$

\bar{y} : Promedio de la muestra 2 (sin adición ACR)

n_1 : Muestra 1 (con adición ACR)

n_2 : Muestra 2 (sin adición ACR)

s^2 : Desviación estándar

d) Determinación de la región crítica

Se determinó como una prueba bilateral es decir de 2 colas, debido a que se desconoce si la adición de ACR al material granular de las canteras influye positivamente o negativamente. El nivel de significación (asumido 5%) al ser dividido entre la mitad de su valor, le corresponde a un nivel de significancia de 2.5% es decir ambas colas tendrán un valor de $\alpha=0.025$. La región crítica se determina con el “t” tabulado, y se determina mediante la siguiente figura:

Figura 9

Tabla de datos de la distribución “t” Student.

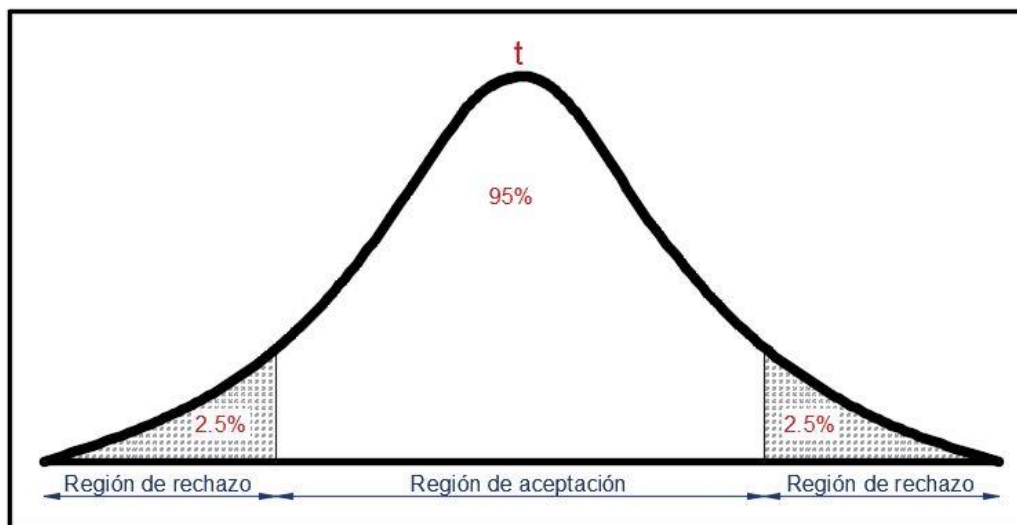
		$\alpha/2$												
		0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
v grados de libertad	1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
	2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
	3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
	4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
	5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
	6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
	7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
	8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
	9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
	10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
	11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
	12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
	13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
	14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
	15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
	16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
	17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
	18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
	19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
	20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
	21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
	22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
	23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
	24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
	25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
	32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
	35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
α	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95	

Nota: Valores para el cálculo de la región crítica en una distribución “t”.

Fuente: Martínez (2012).

Figura 10

Diagrama bilateral de la distribución "t" Student.



Nota: Se visualiza las zonas (región) de aceptación y rechazo que establece la distribución "t" para pruebas bilaterales para un nivel de significación del 5%.

Fuente: Elaboración propia.

La región crítica t_t se calculará mediante la Figura 9

Para lo cual necesitamos

$$gl = (n_1 + n_2 - 2) \text{ grados de libertad.}$$

Donde,

n_1 = corresponde a la muestra con adición de ACR.

n_2 = corresponde a la muestra sin adición de ACR

α = nivel de significación

e) Adoptar una decisión

Con los resultados obtenidos del cálculo del estadístico, con el nivel de significancia adoptado para la región crítica, se procede a aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Capítulo IV

Resultados y discusión

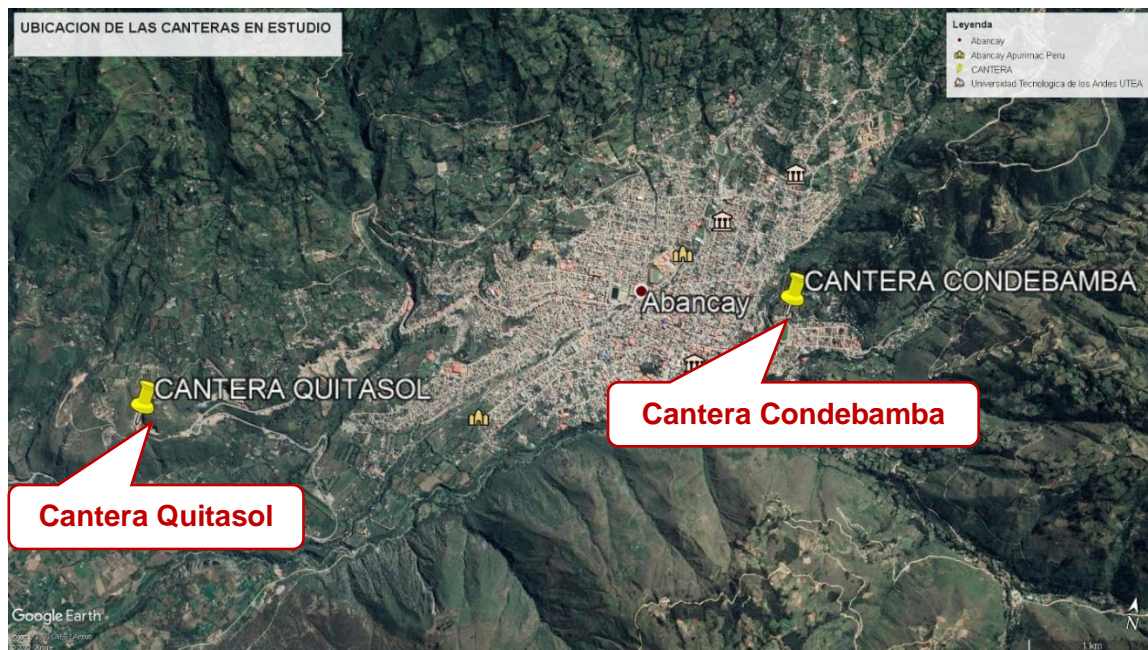
4.1. Resultados

4.1.1. Objetivo específico 1: Determinar la influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

4.1.1.1 Ubicación de las canteras y muestreo de los agregados

Todo estudio de fuentes de materiales para la conformación de base y subbase en pavimentos, primeramente, requiere de la ubicación de canteras que tengan buenas aptitudes para ser usada como tal, luego requiere de estudios detallados de las propiedades de este.

El trabajo en campo consistió en la identificación de las canteras de material granular que se utilizan para la conformación de bases para los pavimentos flexibles en la ciudad de Abancay. Se extrajeron muestras representativas de la cantera de Condebamba, que está ubicada en la parte noreste de la ciudad de Abancay, y la cantera Quitasol que se encuentra en la zona oeste de la ciudad de Abancay (ver Figura 11). Las canteras según al tipo de explotación son a cielo abierto tal como se muestra en la Figura 12 y Figura 13.

Figura 11*Ubicación de las canteras en estudio*

Nota. Se visualiza la ubicación de las canteras tomadas para la investigación. Adaptada de Google Earth

Cantera Condebamba

Ubicación: Noreste de la ciudad de Abancay, a espaldas del estadio Condebamba

Coordenadas: Este: 730282, Norte: 8491899, Altura: 2448 msnm

Tipo de agregado: Agregado natural

Origen: Aluvial - coluvial

Roca: Granodiorita y andesitas

Tipo de explotación: A cielo abierto

Figura 12*Cantera Condebamba*

Nota: Se visualiza las estratificaciones del material de cantera de Condebamba.
Fuente: Elaboración propia.

Cantera: Quitasol

Ubicación: vía asfaltada de la ruta Nazca-Abancay-Cusco de la ruta nacional PE-3S, tomando el desvío al sector de quitasol a 500 metros aproximadamente.

Coordenadas: Este: 724932, Norte: 8489872, altura: 2230 msnm

Tipo de agregado: Agregado natural

Origen: Aluvial – Coluvial.

Roca: granodiorita y andesitas

Tipo de explotación: A cielo abierto

Figura 13

Cantera Quitasol



Nota: Material existente de la cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia

Agregado de concreto reciclado

Ubicación: Se obtuvo los escombros de pavimento rígido de la Av. Venezuela, para luego de ello ser enviado a la trituradora de agregado ubicado en el sector de Pachachaca.

Figura 14

Escombros de pavimentos rígidos



Nota: Escombros de concreto del pavimento en demolición en la avenida Venezuela – Abancay.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2 Muestreo de canteras

La obtención de las muestras de las canteras en estudio, se hizo tomando como criterio los ensayos a ejecutarse. De tal manera, la muestra que se llevó al laboratorio sea lo suficientemente para la realización de ensayos y sea representativa.

Las muestras obtenidas de las canteras en estudio y la muestra de la chancadora (ACR) se codificaron, y se expresaron de la siguiente manera:

Tabla 17

Codificación de las muestras

Codificación	Descripción
M-1	Cantera Condebamba.
M-2	Cantera Quitasol.
M-3	Agregado de concreto reciclado.

Nota: Se establece la codificación empleada para expresar los resultados de las diferentes muestras canteras estudiadas y el ACR.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Muestreo de la cantera Condebamba (M-1)



Nota: Material granular para base de un pavimento, zarandeada por una malla de 2 1/2 pulg. de diámetro

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Muestreo de la cantera Quitasol (M-2)



Nota: Muestreo de material granular para base de un pavimento de la cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Muestreo del agregado de concreto reciclado (M-3)



Nota: transporte de escombros de concreto a la trituradora (lado Izquierdo), muestreo del agregado de concreto reciclado (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.3 Estudio de los agregados

El estudio de las propiedades de los agregados (agregado grueso y fino) es fundamental, porque permite tener una mejor referencia de las aptitudes que esta presenta para ser usado para el fin que se pretenda dar.

Para una mejor caracterización de las canteras a emplear en el desarrollo de esta investigación, se realizaron todos los ensayos requeridos para el material de base en pavimentos dados por la norma, entre las cuales se encuentran:

- Análisis granulométrico por tamizado
- Contenido de humedad
- Límites de consistencia
- Proctor modificado
- CBR (laboratorio)
- Chatas y alargadas
- Caras fracturadas
- Durabilidad al sulfato de magnesio
- Equivalente de arena
- Abrasión los ángeles

Todos los ensayos mencionados se realizaron para las muestras representativas de la cantera de Condebamba y Quitasol, y el agregado de concreto reciclado, así como también de las diferentes adiciones empleadas. Se empleó los procedimientos estándar establecidos en las respectivas normas que rigen para el ámbito vial, comparando los resultados obtenidos de las adiciones de agregado de concreto al material natural con los resultados obtenidos de las canteras naturales.

4.1.1.4 Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107

Los resultados que se obtuvieron del ensayo de análisis granulométrico a las diferentes canteras y al agregado de concreto reciclado se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18

Resultados del análisis granulométrico de la cantera Condebamba, Quitasol.

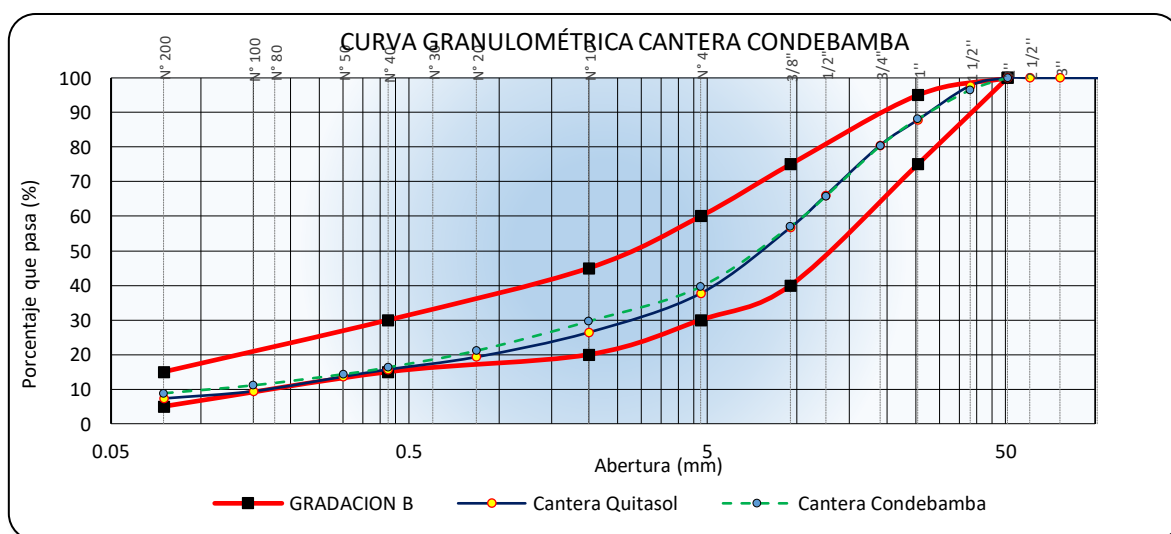
Cantera					
		Condebamba	Quitasol	ACR	Grad. "B"
Tamiz	Abertura (mm)	% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa
2"	50.800	100.0	100.0	100.0	100
1 1/2"	38.100	96.5	97.8	100.0	
1"	25.400	88.1	87.8	92.8	75-95
3/4"	19.000	80.3	80.5	74.8	
1/2"	12.500	65.8	66.1	55.3	
3/8"	9.500	57.1	56.7	49.6	40-75
N°4	4.750	39.6	37.7	31.2	30-60
N°10	2.000	29.6	26.4	21.9	20-45
N°20	0.840	21.1	19.3	14.8	
N°40	0.425	16.3	15.7	10.7	15-30
N°50	0.300	14.3	13.6	9.0	
N°100	0.150	11.1	9.4	5.7	
N°200	0.075	8.8	7.3	2.8	5-15

Nota: Resultados del ensayo de Granulometría (Porcentajes pasantes) de la cantera Condebamba, cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Curva granulométrica de las canteras en estudio.



Nota: Curva granulométrica de la cantera Condebamba, cantera Quitasol

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la cantera Condebamba y Quitasol

Se hicieron todos los ensayos requeridos por la norma del EG 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, y del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Tabla 19

Resumen resultados de la cantera Condebamba.

Ensayo	Resultados	
	C. Condebamba (M-1)	C. Quitasol (M-2)
Análisis Granulométrico por tamizado	% Grava :39.6	% Grava :37.7
	% Arena:51.6	% Arena:55.0
	% Finos : 8.8	% Finos : 7.3
Contenido de humedad (%)	5.1 %	2.9 %
Límite líquido (%)	26 %	20 %
Límite plástico (%)	20 %	17 %
Índice de plasticidad (%)	6 %	3 %
Clasificación SUCS	GP-GC	GP-GM
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)
Densidad máxima seca (gr/cm^3)	2.34 gr/cm^3	2.25 gr/cm^3
Humedad óptima (%)	4.20 %	4.40 %
CBR 0.1" 56 golpes	97.01 %	93.40 %
CBR 0.1" 25 golpes	42.9 %	42.3 %
CBR 0.1" 12 golpes	23.2 %	22.9 %
Equivalente de arena (%)	20 %	26 %
Partículas chatas y alargadas (%)	0.8%	0.9%
Partículas con una cara fracturada (%)	100%	100%
Durabilidad al sulfato de magnesio (%)	13.2%	11.4%
Sales solubles totales (%)	=====	=====
Abrasión los Ángeles (%)	32.8 %	33.7 %

Nota: Cuadro de resumen de los resultados de los diferentes ensayos realizados a la cantera Condebamba y Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

Estudio del agregado de concreto reciclado (ACR)

Obtención del ACR.

Para el desarrollo de la presente investigación, se realizó un estudio del agregado de concreto reciclado (ACR), ya que fue utilizada para adicionar al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol.

Los escombros de concreto se extrajeron de la Av. Venezuela, cuando este se demolía, luego de ello se trasladó a la trituradora de agregados (chancadora Quispe) ubicado en la zona de Pachachaca. Se redujo los escombros hasta un tamaño de 6 pulg. de diámetro para luego ser ingresado a la tolva de alimentación y la obtención de agregado de concreto reciclado de 1 pulg de tamaño máximo nominal.

En la figura 19, se muestra la zona y el lugar de donde se obtuvo los escombros de concreto

Figura 19

Obtención de escombros de concreto de la Av. Venezuela - Abancay.



Nota: Demolición de la Av. Venezuela – Abancay, Obtención de escombros para el desarrollo de la Tesis.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20

Obtención de agregado de concreto reciclado.



Nota: escombros de concreto antes de ingresar a la tolva de alimentación de la chancadora (lado izquierdo), obtención del agregado de concreto reciclado (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia.

Granulometría del ACR

Del ensayo de análisis granulométrico, se obtuvo que el material tiene una buena gradación, teniendo como tamaño máximo nominal de 1 pulg.

Figura 21

Muestra de agregado de concreto reciclado.



Nota: Muestra global de agregado de concreto reciclado de TMN de 1 pulg.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

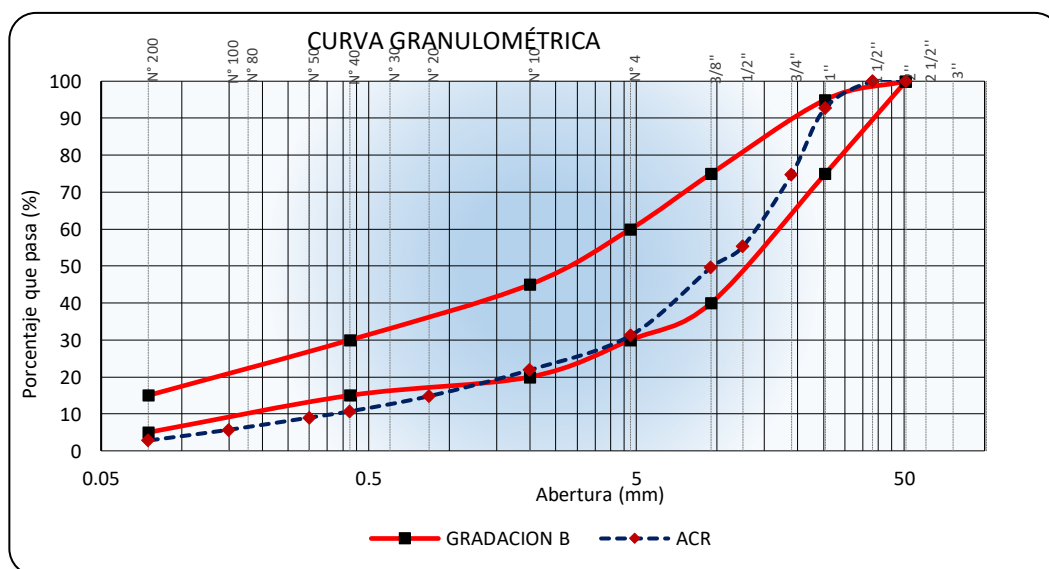
Resultados del ensayo de análisis granulométrico del ACR

Tamiz	Abertura (Mm)	Resultados	
		ACR (M-3)	Gradación "B"
		% Que Pasa	% Que Pasa
2"	50.800	100.0	100
1 1/2"	38.100	100.0	
1"	25.400	92.8	75-95
3/4"	19.000	74.8	
1/2"	12.500	55.3	
3/8"	9.500	49.6	40-75
N°4	4.750	31.2	30-60
N°10	2.000	21.9	20-45
N°20	0.840	14.8	
N°40	0.425	10.7	15-30
N°50	0.300	9.0	
N°100	0.150	5.7	
N°200	0.075	2.8	5-15

Nota: Resultados del ensayo de análisis granulométrico del agregado de concreto reciclado.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

Curva granulométrica del ACR



Nota: Se visualiza la curva granulométrica (gradación) del agregado de concreto reciclado respecto al huso granulométrico "B"

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de ensayos del ACR

Se hicieron todos los ensayos requeridos por la norma del EG 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Tabla 21

Resumen de los ensayos realizados al ACR.

Ensayo	Resultados ACR
Análisis Granulométrico por tamizado	% Grava: 31.2 % Arena: 66.0 % Finos : 2.8
Contenido de humedad (%)	2.3 %
Límite líquido (%)	0 %
Límite plástico (%)	0%
Índice de plasticidad (%)	0 % (NP)
Clasificación SUCS	GW
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)
Densidad máxima seca (gr/cm^3)	1.87 gr/cm^3
Humedad óptima (%)	6.00%
CBR 0.1" al 100% MDS	128.8 %
Equivalente de arena (%)	70.1 %
Partículas chatas y alargadas (%)	1.8%
Partículas con una cara fracturada (%)	98.5%
Durabilidad al sulfato de magnesio (%)	0.6%
Sales solubles totales (%)	=====
Gravedad específica absorción	2.49
Abrasión los Ángeles (%)	34.5 %

Nota: Cuadro de resumen de los ensayos realizados al ACR.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

Combinación de muestras de cantera Quitasol y ACR.



Nota: Combinación por peso realizado a la cantera quitasol (90% Quitasol + 10 % ACR).
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.5 Adiciones de ACR a las Canteras de Condebamba y Quitasol.

Se añadió ACR a la muestra granular de la cantera Quitasol y Condebamba en diferentes proporciones, tendiendo como referencia la granulometría inicial de dichas canteras, de tal manera que no se desfasen del huso de la gradación “B” asumida.

Se realizaron diferentes combinaciones de cantera natural y agregado de concreto reciclado tal como se muestra en la Tabla 22 y, a partir de ello, se obtuvieron las características físicas y mecánicas que se mostraran a continuación.

Tabla 22

Proporciones empleadas de cantera natural + ACR

Cantera	% ACR	Cantera	% ACR
70 % Condebamba	30 % ACR	90 % Quitasol	10% ACR
60 % Condebamba	40 % ACR	80 % Quitasol	20% ACR
50 % Condebamba	50 % ACR	70 % Quitasol	30% ACR
30 % Condebamba	70 % ACR	50% Quitasol	50% ACR

Nota: En el cuadro se muestra las diferentes proporciones aplicadas a las canteras.
Fuente: Elaboración propia.

Las proporciones de ACR como adición al material granular de las canteras, se calculó en base al peso inicial de la muestra cuarteada para luego de ello determinar en las diferentes proporciones planteadas. En la investigación desarrollada se consideró 8 adiciones de ACR vera para cada una de las combinaciones es.

4.1.1.6 Resultados del valor de CBR del material de cantera adicionado con ACR

Para la determinación del valor de CBR, se procedió con la siguiente secuencia de ensayos y los resultados se muestran, a continuación:

- **Granulometría por tamizado (Condebamba + ACR), según MTC E 107**

Tabla 23

Granulometría de las diferentes adiciones realizadas de ACR a la C. Condebamba.

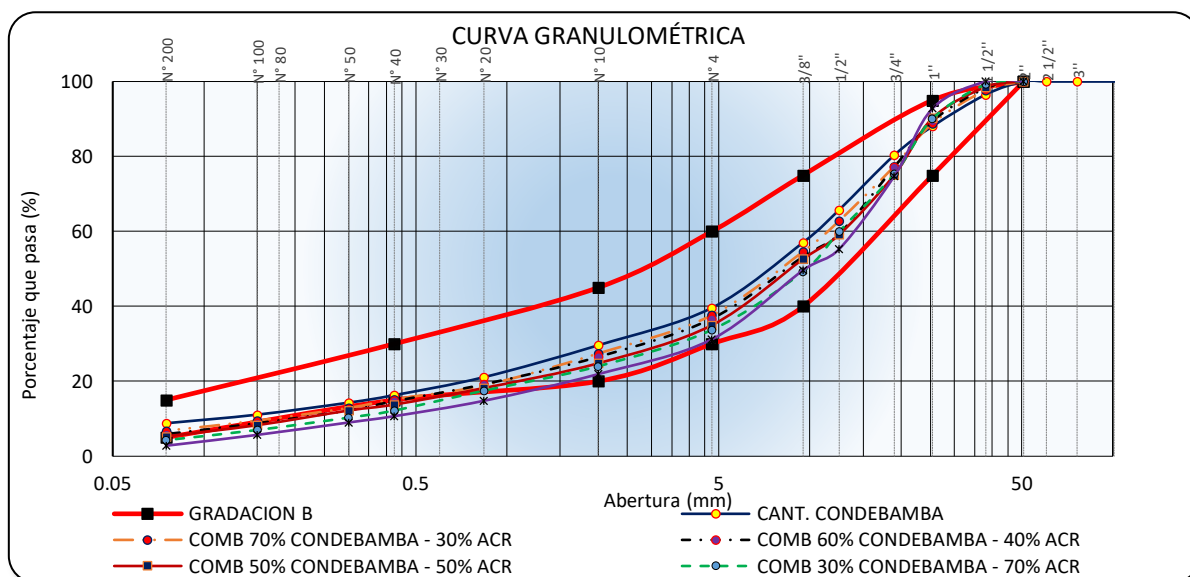
Tamiz	Abertura (Mm)	Cantera Condebamba % Que Pasa	Combinaciones			
			70% Cond - 30 % ACR % Que Pasa	60% Cond - 40 % ACR % Que Pasa	50% Cond - 50 % ACR % Que Pasa	30% Cond - 70 % ACR % Que Pasa
2"	50.800	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.100	96.5	97.7	98.2	98.6	99.2
1"	25.400	88.1	88.8	89.4	90.2	90.1
3/4"	19.000	80.3	77.4	77.2	75.1	75.3
1/2"	12.500	65.8	62.8	59.3	59.1	60.0
3/8"	9.500	57.1	54.6	53.3	52.6	49.3
N°4	4.750	39.6	37.6	36.7	35.0	33.7
N°10	2.000	29.6	27.4	26.5	24.8	24.0
N°20	0.840	21.1	18.9	19.2	18.2	17.5
N°40	0.425	16.3	15.2	14.7	13.8	12.2
N°50	0.300	14.3	12.9	12.2	12.2	10.3
N°100	0.15	11.1	9.5	8.8	8.3	7.0
N°200	0.075	8.8	6.8	5.9	5.3	4.3

Nota: Resultados del ensayo de análisis granulométrico por tamizado de las diferentes adiciones de ACR a la cantera Condebamba.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Curva granulométrica de las adiciones de ACR a la cantera Condebamba.



Nota: Curva granulométrica de las distintas adiciones de ACR a la cantera Condebamba.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo los porcentajes pasantes en cada malla de cada combinación y se graficó cada uno de ellos. Se observa que la curva granulométrica a medida que aumenta la combinación respecto al ACR se acerca y se desfasa del límite inferior de la gradación “B”, reduciendo en alrededor de 0.6% pasante la malla N° 200 con cada combinación incrementada.

- **Resultados del ensayo de Proctor Modificado (Condebamba + ACR)**

Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 24

Resultados del ensayo de proctor modificado de la adición de ACR.

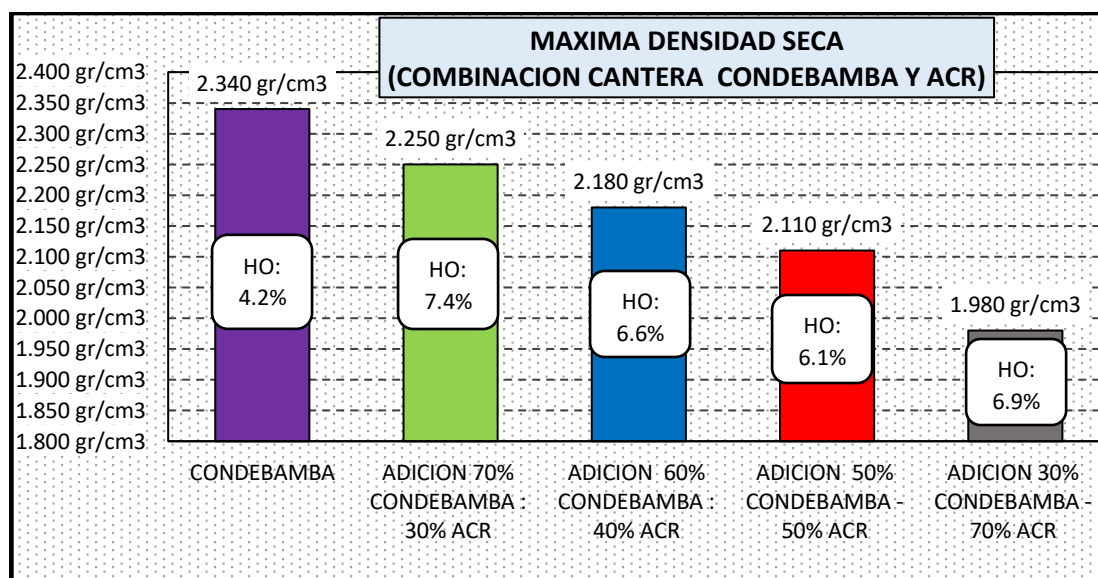
Cantera	Densidad Máxima	Humedad Optima
Condebamba	2.340 gr/cm ³	4.2%
Adición 70% Condebamba - 30% ACR	2.250 gr/cm ³	7.4%
Adición 60% Condebamba - 40% ACR	2.180 gr/cm ³	6.6%
Adición 50% Condebamba - 50% ACR	2.110 gr/cm ³	6.1%
Adición 30% Condebamba - 70% ACR	1.980 gr/cm ³	6.9%

Nota: resultados de ensayo de Proctor modificado de la cantera natural y las adiciones realizadas.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

Resultados de la densidad máxima seca de la adición de ACR.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de Proctor modificado de la cantera Condebamba, se observa la disminución de su peso volumétrico del suelo a medida que las adiciones incrementan. Inversamente con el óptimo contenido de humedad tiende a crecer con cada incremento de adición de ACR con respecto a la cantera natural.

- **Resultados del ensayo de CBR (Condebamba - ACR)**

Lo ensayos de CBR se hicieron según el manual de ensayo de materiales MTC E 132, que incluye desde el proceso de:

Se compactaron 03 muestras con un óptimo contenido de humedad que se extrajo del ensayo de Proctor modificado, cada muestra se compactó a distintas energías de compactación que corresponde a 56 golpes, 25 golpes y 12 golpes, luego de ello se lleva a la muestra a la etapa de saturación durante 4 días o hasta que no presente expansión. Terminado ese periodo se somete a la prensa CBR para luego determinar su resistencia al esfuerzo cortante del suelo compactado.

Figura 26

Ensayo de CBR de la Cantera Condebamba + ACR



Nota: Preparación de la muestra para la etapa de compactado (lado izquierdo), etapa de inmersión de la muestra compactada durante cuatro días o hasta que no se registre expansión.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27

Ensayo de CBR Cantera Condebamba + ACR



Nota: Ejecución de la resistencia al esfuerzo cortante de la muestra compactada en la prensa CBR automática Humbolt HM 5116.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Resultados de CBR de las adiciones d ACR la C. Condebamba

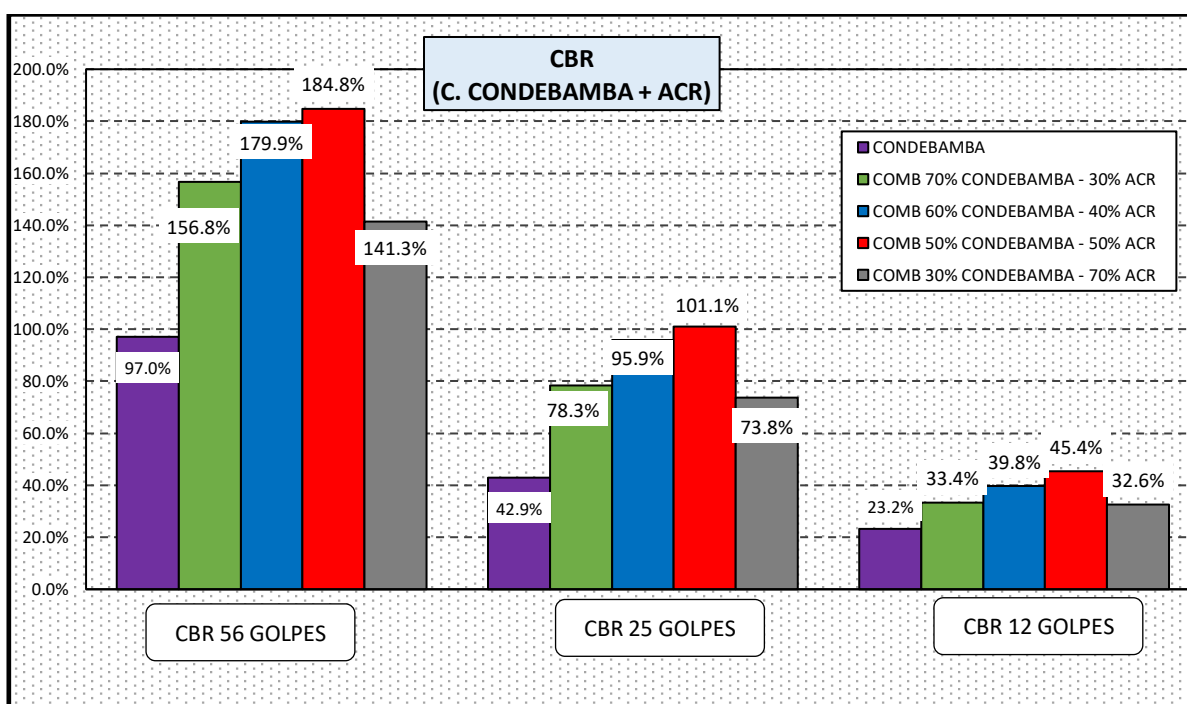
Cantera	CBR 0.1 pulg de penetración			
	56 golpes	25 golpes	12 golpes	Expansión (%)
Condebamba	97.0%	42.9%	23.2%	0.2 %
COMB 70% Condebamba - 30% ACR	156.8%	78.3%	33.4%	0 %
COMB 60% Condebamba - 40% ACR	179.9%	95.9%	39.8%	0 %
COMB 50% Condebamba - 50% ACR	184.8%	101.1%	45.4%	0 %
COMB 30% Condebamba - 70% ACR	141.3%	73.8%	32.6%	0 %

Nota: Resultados de CBR a distintas energías de compactación, también se visualiza la expansión de cada combinación.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 28

Resultados de CBR de las adiciones de ACR la C. Condebamba

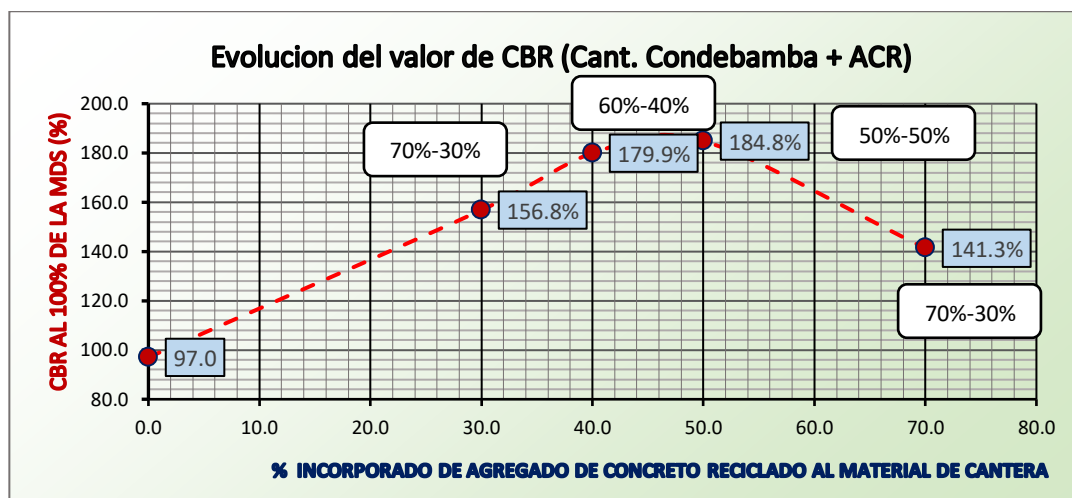


Nota: Variación del CBR de las diferentes adiciones realizadas.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29

Evolución del valor de CBR de las adiciones de ACR a la C. Condebamba.



Nota: Se visualiza la evolución del valor de CBR de las combinaciones realizadas
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos del valor de CBR, se observa un decrecimiento a partir de la combinación 50% cantera Condebamba + 50 % ACR (184.8%), de ahí empieza a decrecer el valor con la siguiente combinación que es de 30% cantera Condebamba + 70 % ACR arrojando un valor de 141.3 % de CBR. Con respecto a la expansión del material durante la etapa de inmersión, se evidencia que para cada una de las adiciones de ACR, la muestra compactada no presenta expansión.

- **Granulometría por tamizado (Quitasol + ACR), según MTC E 107**

Tabla 26

Granulometría de las diferentes combinaciones realizadas a la C. Quitasol + ACR

	Cantera Quitasol	Combinaciones				
		90% Quit. + 10 % ACR	80% Quit. + 20 % ACR	70% Quit. + 30 % ACR	50% Quit. + 50 % ACR	
Tamiz	Abertura (Mm)	% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa
2"	50.800	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.100	97.8	98.4	98.1	98.1	98.7
1"	25.400	87.8	88.1	88.5	89.5	90.1

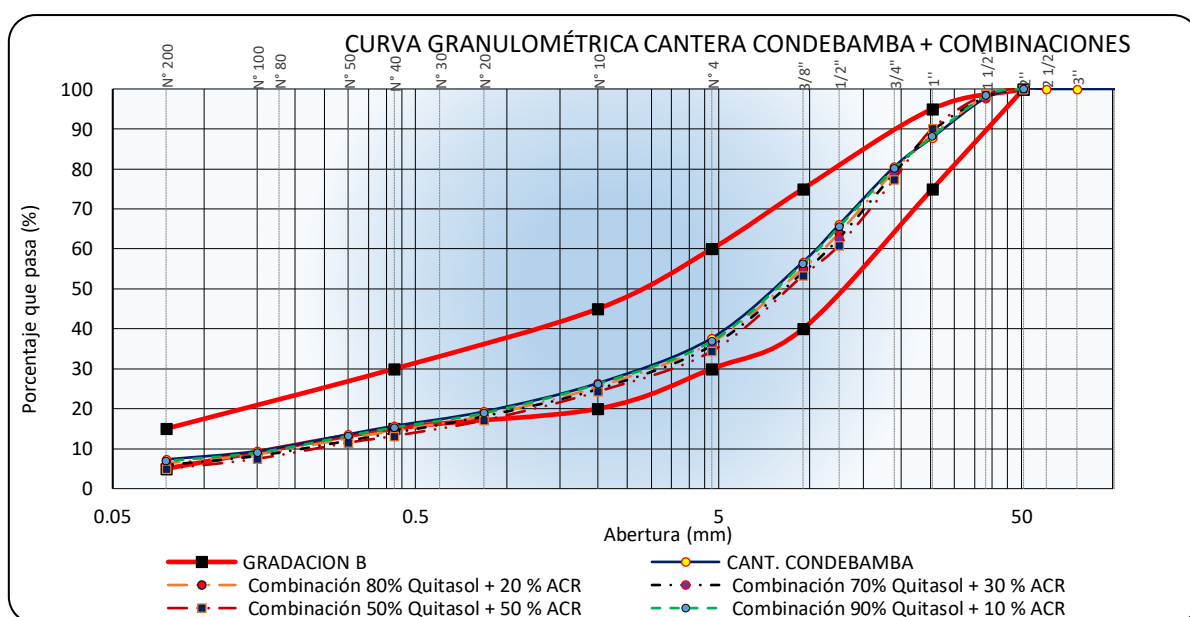
3/4"	19.000	80.5	80.1	79.5	78.9	77.4
1/2"	12.500	66.1	65.5	64.0	62.7	60.9
3/8"	9.500	56.7	56.3	55.1	54.1	53.3
N°4	4.750	37.7	36.9	36.6	35.8	34.4
N°10	2.000	26.4	26.2	25.5	24.9	24.3
N°20	0.840	19.3	18.9	18.3	18.1	17.1
N°40	0.425	15.7	15.3	14.5	14.0	13.2
N°50	0.300	13.6	13.2	12.6	12.0	11.5
N°100	0.15	9.4	9.0	8.6	8.2	7.5
N°200	0.075	7.3	6.9	6.4	5.9	4.9

Nota: Resultados del ensayo de análisis granulométrico por tamizado de las diferentes adiciones realizadas a la cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30

Curva granulométrica de la cantera Quitasol + ACR



Nota: Curva granulométrica de las diferentes adiciones de ACR a la cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo los porcentajes pasantes en cada malla de cada combinación, y se graficó cada uno de ellos. Se observa que la curva granulométrica a medida que aumenta la combinación con respecto al ACR se acerca y se desfase del límite inferior de la gradación

“B”, reduciendo en alrededor de 0.5% pasante la malla N° 200 con cada combinación incrementada.

- **Resultados del ensayo de proctor modificado (Quitason: ACR)**

Tabla 27

Resultados del ensayo de proctor modificado de la adición de ACR.

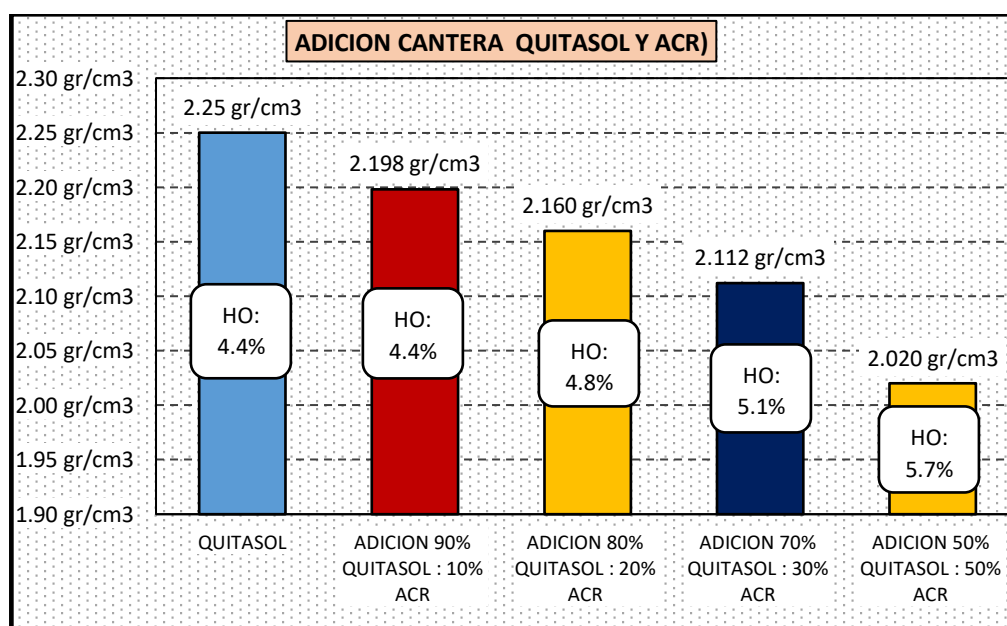
Cantera	Densidad máxima	Humedad óptima
Quitason	2.250 gr/cm ³	4.4%
Adición 90% Quitason : 10% ACR	2.198 gr/cm ³	4.4%
Adición 80% Quitason : 20% ACR	2.160 gr/cm ³	4.8%
Adición 70% Quitason : 30% ACR	2.180 gr/cm ³	5.1%
Adición 50% Quitason : 50% ACR	2.020 gr/cm ³	5.7%

Nota: Resultados de ensayo de proctor modificado de la cantera natural y las adiciones realizadas.

Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Resultados de la densidad máxima seca de la adición de ACR.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de proctor modificado de la cantera Quitason, se observa la disminución de su peso volumétrico del suelo a medida que las adiciones incrementan. Inversamente con el óptimo contenido de humedad tiende a crecer con cada incremento de adición de ACR con respecto a la cantera natural.

- **Resultados del ensayo de CBR (Quitason : ACR)**

Lo ensayos de CBR se hicieron según el manual de ensayo de materiales, que incluye desde el proceso de de:

Se compactaron 03 muestras con un óptimo contenido de humedad que se extrajo del ensayo de proctor modificado, cada muestra se compactó a distintas energías de compactación que corresponde a 56 golpes, 25 golpes y 12 golpes, luego de ello se lleva a la muestra a la etapa de saturación durante 4 días o hasta que no presente expansión. Terminado ese periodo se somete a la prensa CBR para luego determinar su resistencia al esfuerzo cortante del suelo compactado.

Figura 32

Ensayo de CBR de la adición de ACR a la cantera Condebamba



Nota: Muestra compactada a 56, 25 y 12 golpes (lado izquierdo), inmersión de la muestra compactada durante cuatro días o hasta que no se registre expansión (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

Ensayo de CBR de la adición de ACR a la cantera Quitasol.



Nota: Ejecución de la resistencia al esfuerzo cortante de la muestra compactada en la prensa CBR automática Humbolt HM 5116 (lado izquierdo), muestras después de ser sometidas al ensayo de CBR (Lado derecho).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Resultados del ensayo de CBR de las adiciones de ACR a la Cantera Quitasol.

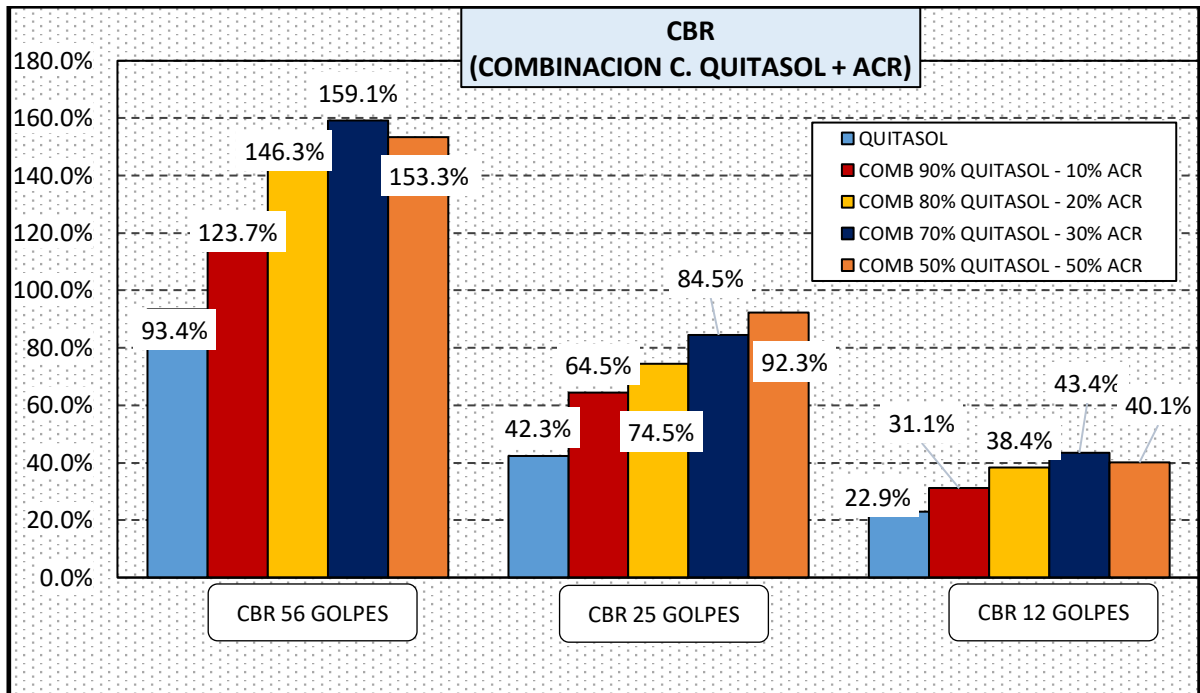
Cantera	CBR 0.1 pulg. de penetración			
	56 golpes	25 golpes	12 golpes	Expansión (%)
Quitasol	93.4%	42.3%	22.9%	0 %
90% Quitasol + 10% ACR	123.7%	64.9%	31.1%	0 %
80% Quitasol + 20% ACR	146.3%	74.5%	38.4%	0 %
70% Quitasol + 30% ACR	159.1%	84.5%	43.4%	0 %
50% Quitasol + 50% ACR	153.3%	92.3%	40.1%	0 %

Nota: Resultados de CBR a distintas energías de compactación, también se visualiza la expansión de cada combinación.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34

CBR de las adiciones de ACR a la Cantera. Quitasol.

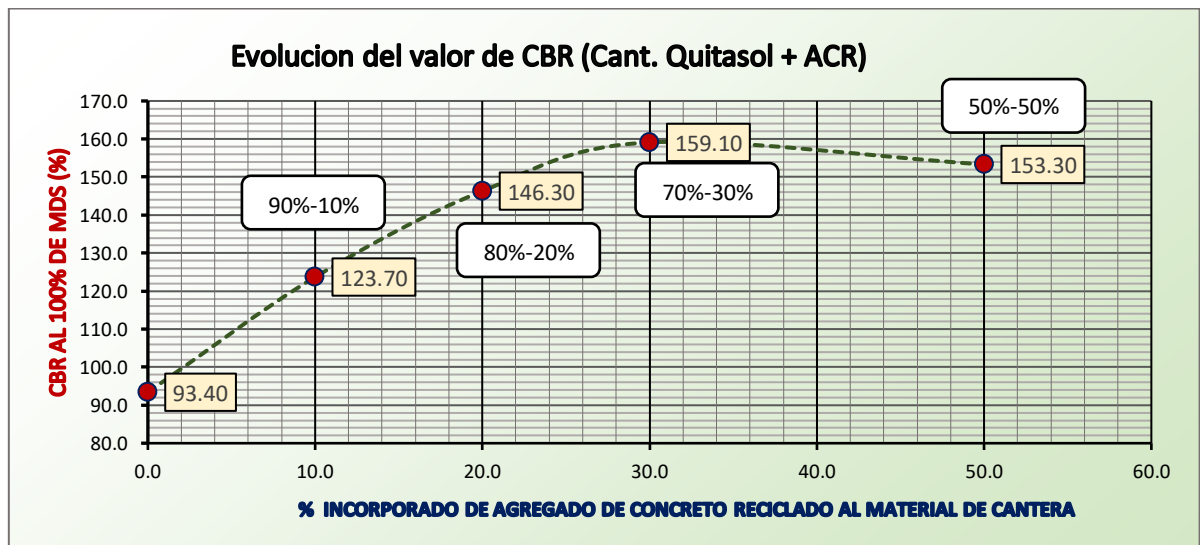


Nota: Variación del valor de CBR de la muestra patrón (cantera natural) y las diferentes adiciones realizadas.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

Evolución del valor de CBR de las adiciones de ACR a la cantera Quitasol.



Nota: Se visualiza la evolución del valor de CBR de la muestra patrón y las combinaciones realizadas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos del valor de CBR, se observa crecimiento en las primeras 03 combinaciones, un decrecimiento a partir de la combinación 70% cantera Quitasol - 30 % ACR (159.1%), de ahí empieza a decrecer el valor con la siguiente combinación que es de 50% cantera Quitasol - 50 % ACR arrojando un valor de 153.30 % de CBR. Con respecto a la expansión del material durante la etapa de inmersión, se evidencia que para cada una de las adiciones de ACR, la muestra compactada no presenta expansión.

4.1.2. Objetivo específico 2: Influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible.

4.1.2.1 Resultados del valor de índice de plasticidad (IP)

- **IP de la muestra adicionada de ACR a la cantera Condebamba**

Tabla 29

Resultados del ensayo de IP de la adición de ACR a la cantera Condebamba.

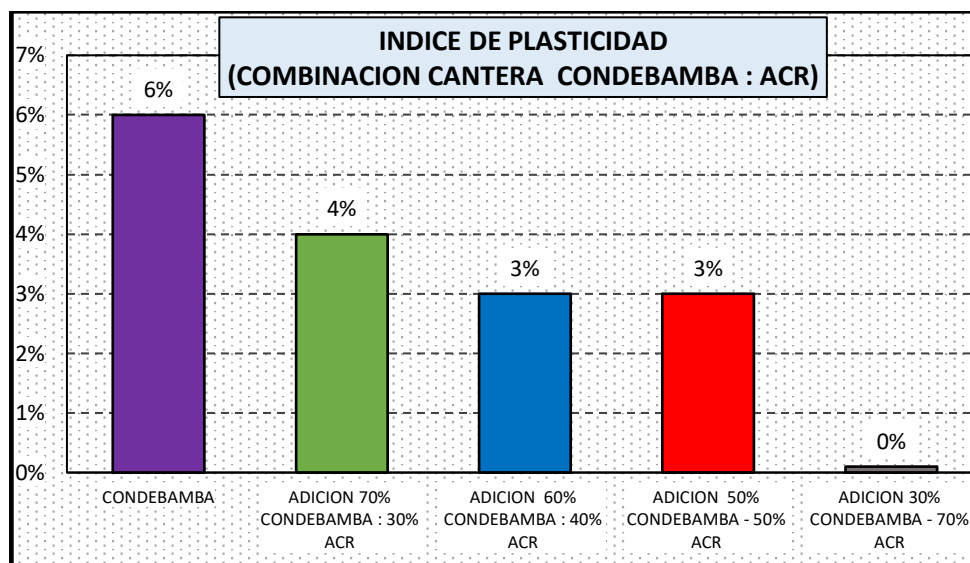
Cantera	IP_1	IP_2	IP_3	IP_{Prom}	IP MTC 111
Condebamba	5.7%	6.0%	5.8%	5.8%	6%
Adición 70% Condebamba : 30% ACR	4.6%	4.2%	4.3%	4.4%	4%
Adición 60% Condebamba : 40% ACR	3.8%	3.7%	3.5%	3.7%	4%
Adición 50% Condebamba : 50% ACR	2.8%	2.8%	2.6%	2.8%	3%
Adición 30% Condebamba : 70% ACR	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: Se observa un decrecimiento en el IP debido al incremento de material fino no plástico.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 36

Índice de plasticidad de las adiciones de ACR a la Condebamba.



Nota: En el grafico se visualiza el decrecimiento del valor de índice de plasticidad
Fuente: Elaboración propia.

De los resultados del ensayo de índice de plasticidad de la adición de ACR a la cantera de Condebamba, se observó un decrecimiento en índice de plasticidad a medida que las combinaciones van aumentando (incremento de ACR). Decreció desde un valor de índice de plasticidad de 6% (cantera Natural) hasta un valor de 3% (combinación de 50% - 50%).

- *IP de la muestra adicionada de ACR a la cantera Quitasol*

Tabla 30

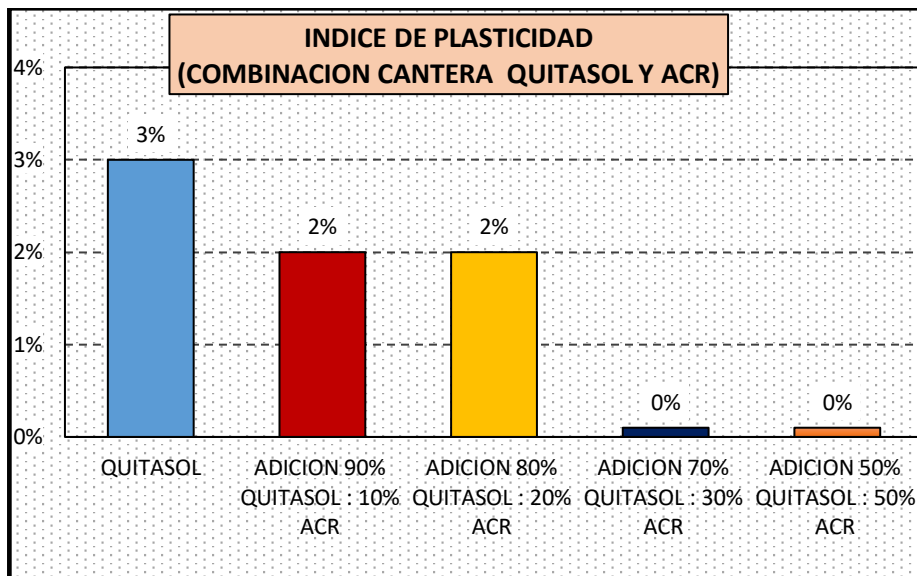
Resultados del ensayo de IP de la adición de ACR a la cantera Quitasol.

Cantera	IP_1	IP_2	IP_3	IP_{prom}	IP MTC E 111
Quitasol	2.7%	3.3%	3.1%	3.03%	3%
Adición 90% Quitasol : 10% ACR	2.4%	2.0%	2.3%	2.2%	2%
Adición 80% Quitasol : 20% ACR	1.6%	1.4%	1.7%	1.6%	2%
Adición 70% Quitasol : 30% ACR	0%	0%	0%	0%	0%
Adición 50% Quitasol : 50% ACR	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: Se observa un decrecimiento en el IP debido al incremento de material fino no plástico.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 37

Índice de plasticidad de las adiciones de ACR a la cantera Quitasol.



Nota: En el grafico se visualiza el decrecimiento del valor de índice de plasticidad
Fuente: Elaboración propia.

De los resultados del ensayo de índice de plasticidad de la adición de ACR a la cantera de Quitasol, se observó un decrecimiento en índice de plasticidad a medida que las combinaciones van aumentando (incremento de ACR). Decreció desde un valor de índice de plasticidad de 3% (cantera Natural) hasta un valor de 0% (adición de 30% cantera - 70% ACR).

4.1.3. Objetivo específico 3: influencia de la adición de agregado de concreto reciclado en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible

4.1.3.1 Resultados del valor de Equivalente de arena (EA).

- ***Equivalente de la adición de ACR a la cantera Condebamba***

De los ensayos realizados a la combinación del agregado de concreto reciclado al material granular, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 31

Resultados del ensayo de equivalente de arena de las adiciones de ACR a la C. Condebamba.

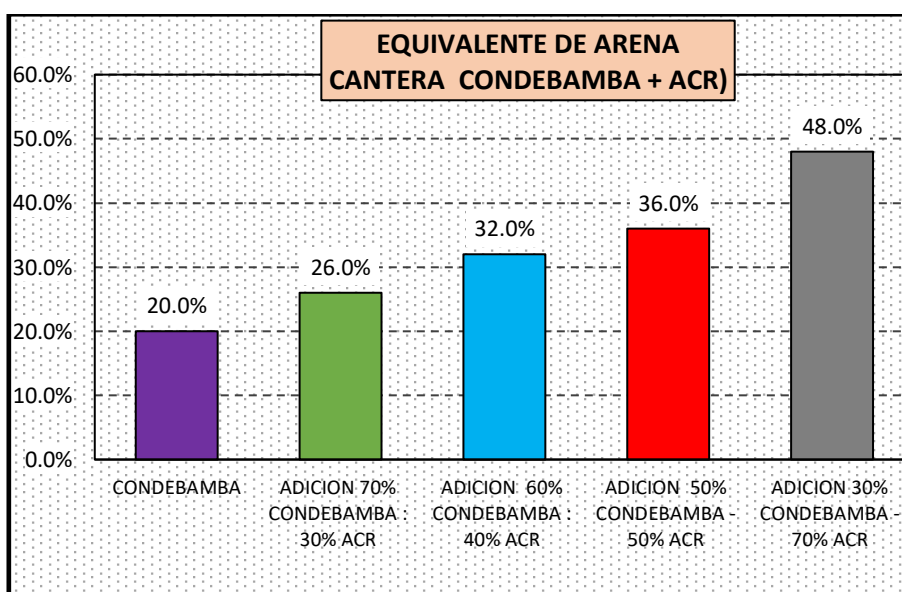
Cantera + Combinaciones	Resultados				EA(%) MTC E 114
	EA_1	EA_2	EA_3	EA_{Prom}	
Condebamba	19.1%	19.8%	20.4%	19.8%	20%
Adición 70% Condebamba : 30% ACR	25.7%	27.5%	23.8%	25.7%	26%
Adición 60% Condebamba : 40% ACR	31.3%	30.3%	33.7%	31.8%	32%
Adición 50% Condebamba : 50% ACR	35.3%	33.7%	37.2%	35.4%	36%
Adición 30% Condebamba : 70% ACR	46.4%	48.4%	47.1%	47.4%	48%

Nota: El equivalente de arena viene a hacer el valor inmediato superior entero del $R_{Promedio}$.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 38

Resultados de Equivalente de Arena de las Adiciones de ACR a la C. Condebamba.



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados del ensayo de Equivalente de arena de la adición de ACR a la cantera de Condebamba, se observó un incremento de dicho valor a medida que las combinaciones van aumentando (incremento de ACR). Incrementó desde un valor de 20% (cantera natural) hasta un valor de 48% (adición de 30% cantera - 70% ACR).

- *Equivalente de arena de la adición de ACR a la cantera Quitasol*

Tabla 32

Resultados del ensayo de equivalente de arena de las adiciones de ACR a la C. Quitasol.

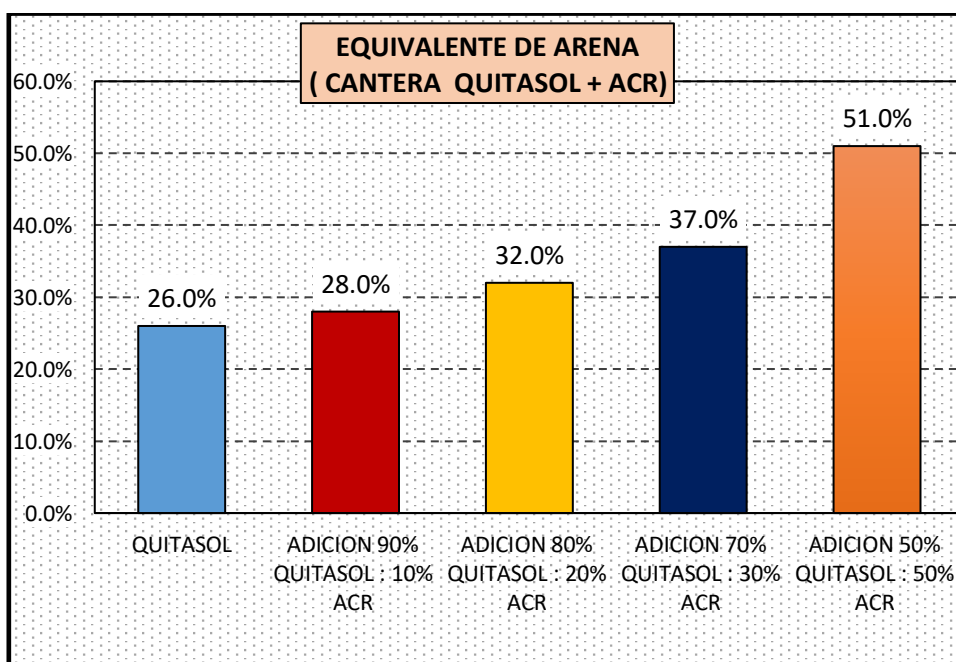
Cantera	Resultados				
	R1	R2	R3	R_{Prom}	EA(%)
Quitasol	25.7%	26.7%	24.8%	25.7%	26%
90% Quitasol + 10% ACR	26.7%	27.7%	28.9%	27.8%	28%
80% Quitasol + 20% ACR	31.1%	32.2%	30.8%	31.4%	32%
70% Quitasol + 30% ACR	37.5%	36.0%	36.5%	36.7%	37%
50% Quitasol + 50% ACR	49.2%	50.8%	51.6%	50.5%	51%

Nota: El equivalente de arena viene a hacer el valor inmediato superior entero del $R_{Promedio}$

Fuente: Elaboración propia.

Figura 39

Resultados de Equivalente de Arena de las adiciones de ACR a la C. Quitasol.



Nota: Variaciones de los resultados de equivalente de arena

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados del ensayo de equivalente de arena de la adición de ACR a la cantera de Quitasol, se observó un incremento de dicho valor a medida que las combinaciones van aumentando (incremento de ACR). Incrementó desde un valor de 26% (cantera Natural) hasta un valor de 51% (adición de 50% cantera - 50% ACR).

Resumen de resultados de las adiciones de ACR a la cantera Condebamba

Tabla 33

Resumen de resultados de las adiciones de ACR a la cantera Condebamba.

Ensayo	Resultados				
	Condebamba	C. Condebamba 70% - ACR 30%	C. Condebamba 60% - ACR 40%	C. Condebamba 50% - ACR 50%	C. Condebamba 30% - ACR 70%
Análisis granulométrico por tamizado	% Grava: 39.6	% Grava: 37.6	% Grava: 36.7	% Grava: 35.0	% Grava: 33.7
	% Arena: 51.6	% Arena: 55.6	% Arena: 57.4	% Arena: 59.7	% Arena: 62.0
	% Finos : 8.8	% Finos : 6.8	% Finos : 5.9	% Finos : 5.3	% Finos : 4.3
Contenido de humedad (%)	2.3 %	3.4 %	2.8 %	4.4 %	6.9 %
Límite líquido (%)	26 %	27%	26%	26%	24%
Límite plástico (%)	20 %	23%	23%	23%	0%
Índice de plasticidad (%)	6 %	4 %	3 %	3 %	0% (NP)
Clasificación SUCS	GP-GC	GP-GM	GP-GM	GP-GM	GP
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)
Densidad máxima seca (gr/cm^3)	2.34 gr/cm^3	2.25 gr/cm^3	2.18 gr/cm^3	2.11 gr/cm^3	1.98 gr/cm^3
Humedad óptima (%)	4.2 %	7.40%	6.60%	6.10%	6.90%
CBR 0.1" al 100% MDS	97.0 %	156.8 %	179.9 %	184.8 %	141.3 %
Equivalente de arena (%)	20.0 %	26 %	32%	36%	46%
Abrasión los Ángeles (%)	33.8 %	30.2 %	31.3 %	32.1 %	33.4%

Nota: Cuadro de resumen de ensayos realizados a cada una de las adiciones planteadas de ACR a la cantera Condebamba.

Fuente: Elaboración propia.

Resumen de resultados de las adiciones de ACR a la cantera Quitasol.

Tabla 34

Resumen de resultados de las adiciones de ACR a la cantera Quitasol.

Ensayo	Resultados				
	Quitasol	C. Quitasol 90% - ACR 10%	C. Quitasol 80% - ACR 20%	C. Quitasol 70% - ACR 30%	C. Quitasol 50% - ACR 50%
Análisis Granulométrico por tamizado	% Grava: 37.7	% Grava: 36.9	% Grava: 36.6	% Grava: 36.6	% Grava: 33.7
	% Arena: 55.0	% Arena: 56.2	% Arena: 57.0	% Arena: 59.7	% Arena: 62.0
	% Finos : 7.3	% Finos : 6.9	% Finos : 6.4	% Finos : 5.3	% Finos : 4.3
Contenido de humedad (%)	4.4 %	2.0 %	2.1 %	2.9 %	2.3 %
Límite líquido (%)	20 %	20%	21%	21%	20%
Límite plástico (%)	17 %	18%	19%	0%	0%
Índice de plasticidad (%)	3 %	2 %	2 %	0 % (NP)	0% (NP)
Clasificación SUCS	GP-GM	GP-GM	GP-GM	GP-GM	GP
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)
Densidad máxima seca (gr/cm^3)	2.25 gr/cm^3	2.20 gr/cm^3	2.16 gr/cm^3	2.11 gr/cm^3	2.02 gr/cm^3
Humedad óptima (%)	4.4 %	4.40%	4.80%	5.10%	5.70%
CBR 0.1" al 100% MDS	93.4 %	123.7 %	146.3 %	159.1 %	153.0 %
Equivalente de arena (%)	26.0 %	28 %	32%	37%	51%
Abrasión los Ángeles (%)	32.3 %	31.3 %	31.9 %	32.4 %	33.1%

Nota: Cuadro de resumen de ensayos realizados a cada una de las adiciones de ACR planteadas a la cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Discusión de resultados

Con los resultados obtenidos de la cantera Condebamba, se procedió a adicionar ACR en diferentes proporciones. Las proporciones realizadas en la presente investigación fueron: 70% Condebamba - 30 % ACR, 60% Condebamba - 40 % ACR, 50% Condebamba - 50 % ACR y 30% Condebamba - 70 % ACR.

Con los resultados obtenidos de la cantera Quitasol, se procedió a adicionar ACR en diferentes proporciones. Las proporciones realizadas en la presente investigación fueron: 90% Quitasol - 10 % ACR, 80% Quitasol - 20 % ACR, 70% Quitasol - 30 % ACR y 50% Quitasol - 50 % ACR.

a) En lo que corresponde al valor de CBR:

Para la cantera Condebamba, se obtuvo un valor de 97% de CBR, que corresponde al 100% de su máxima densidad seca. De las adiciones realizadas, se obtuvieron valores de: 156.8%, 179.9%, 184.8% y 141.3%, generando incrementos en el valor de CBR con cada combinación en: 59.8%, 82.5%, 87.8% y 44.3%, con respecto al valor de CBR de la cantera natural (sin combinación).

Para la cantera de Quitasol, se obtuvo un valor de CBR de 93.4%, que corresponde al 100% de su máxima densidad seca. De las combinaciones realizadas, se obtuvieron valores de: 123.7%, 146.3%, 159.1% y 153.0%, generando incrementos en el valor de CBR con cada combinación en: 30.3%, 52.9%, 65.7% y 59.9%, con respecto al valor de CBR de la cantera natural (sin combinación).

En su investigación de Contreras y Herrera (2015) “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructura de pavimento en nuevo Chimbote – Santa – Ancash”. En dicha investigación se utilizaron combinaciones de 50% AR – 50 % AN, 60% AR – 40 % AN y 75% AR – 25 % AN; obtuvieron resultados de CBR de 115.62%, 113.97% y 86.72%. En su investigación dichos valores decrecen a

medida que las combinaciones se incrementan debido a que las muestras de agregado reciclado corresponden a materiales heterogéneos (morteros, cerámicos, concreto, etc.). Chasquero y Hurtado (2019) en su trabajo de investigación de tesis titulado “Uso del concreto reciclado proveniente de demoliciones para la producción de afirmado”. En dicha investigación realizaron combinaciones de 50%CR - 50%SM, 60% CR – 40%SM y 70% CR – 30%SM. Obtuvieron valores de CBR de 28%, 47% y 58% referidos al 100% de su máxima densidad seca y a una penetración de 0.1 pulgada. Evidenciaron un incremento en el valor de CBR.

b) En lo que corresponde al valor de índice de plasticidad (IP):

En lo que se refiere al índice de plasticidad, se obtuvo un IP de la cantera Condebamba de 6%, de las combinaciones se obtuvieron los siguientes resultados: 4%, 3%, 3% y 0%, generando decrecimientos en el valor índice de plasticidad (IP) con cada combinación en: -2%, -3%, -3% y -6% con respecto al valor de IP de la cantera natural (sin combinación), se refleja el decrecimiento en el IP debido a que el ACR no presenta plasticidad (IP de 0%), porque en la parte fina presenta arena no plástica y partículas de cemento.

Para la cantera de Quitasol se obtuvo un valor de 3%, de las adiciones realizadas se obtuvieron los siguientes resultados: 2%, 0%, 0% y 0%, generando decrecimientos en el valor índice de plasticidad (IP) con cada combinación en: -1%, -3%, -3% y -3% con respecto al valor de IP de la cantera natural (sin combinación), se refleja el decrecimiento en el IP debido a que el ACR no presenta plasticidad (IP de 0%) porque en la parte fina presenta arena no plástica y partículas de cemento.

En su investigación de Contreras y Herrera (2015) “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructura de pavimento en nuevo Chimbote – Santa – Ancash”. En dicha investigación se utilizaron combinaciones

de 50% AR – 50 % AN, 60% AR – 40 % AN y 75% AR – 25 % AN; obtuvieron resultados de IP de la cantera San Pedrito de 0% y de las combinaciones se obtuvieron los siguientes resultados de IP: 0%, 0% y 0%. Chasquero y Hurtado (2019) en su trabajo de investigación de tesis titulado “Uso del concreto reciclado proveniente de demoliciones para la producción de afirmado”. En dicha investigación realizaron combinaciones de 50%CR - 50%SM, 60% CR – 40% y SC SM 70% CR – 30%SM, obtuvieron valores de IP de 9%, 8% y 8%, evidenciándose un decrecimiento en el valor de índice de plasticidad con cada incremento AR.

c) En lo que corresponde al valor de equivalente de arena (EA):

Para la cantera Condebamba, se obtuvo un valor de equivalente de arena de 20%. De las combinaciones realizadas, se obtuvieron los siguientes resultados: 26%, 32%, 36% y 46%, generando incrementos en el valor de EA con cada combinación en: 6%, 12%, 16% y 26% con respecto al valor de equivalente de arena de la cantera natural (sin combinación). Se refleja el crecimiento en dichos valores debido a que el ACR tiene un valor de EA de 70% estando conformado por material granular fino que tiene menos presencia de material fino (polvo) y esto hace que presente un valor de EA muy alto.

De la cantera Quitasol, se obtuvo un valor de equivalente de arena (EA) de 25%. De las combinaciones realizadas se obtuvieron los siguientes resultados: 28%, 32%, 37% y 51%, generando incrementos en el valor de EA con cada combinación en: 3%, 7%, 12% y 26% con respecto al valor de equivalente de arena de la cantera natural (sin combinación). Se refleja el crecimiento en dichos valores debido a que el ACR tiene un valor de EA de 70% estando conformado por material granular fino que tiene menos presencia de material fino (polvo) y esto hace que presente un valor de EA muy alto. En su investigación de Contreras y Herrera (2015) “Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructura de pavimento en nuevo Chimbote – Santa – Ancash”.

En dicha investigación se utilizaron combinaciones de 50% AR – 50 % AN, 60% AR – 40 % AN y 75% AR – 25 % AN; obtuvieron resultados de EA de la cantera San Pedrito de 70.75% y Del ACR 74.34%. De las combinaciones se obtuvieron los siguientes resultados de EA: 61.22%, 48.28% y 59.22%.

4.3. Prueba de hipótesis

- **Cálculo de la región crítica**

La región crítica t_t se calculó mediante la Figura 9, para lo cual necesitamos $gl = (n_1 + n_2 - 2)$ grados de libertad.

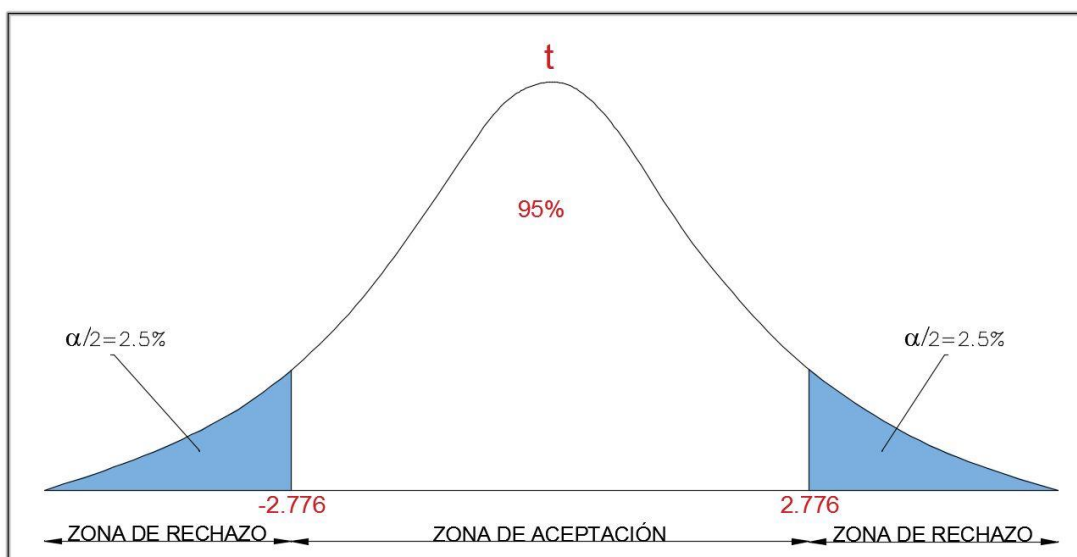
Donde, $n_1=3$ $n_2=3$ reemplazando en la expresión anterior obtenemos $gl = 4$

$\alpha = 0.025$ bilateral (dos colas).

Utilizando el cuadro de la Figura 9, se obtiene que el $t_t = \pm 2.776$, esto indica que podrá estar a la derecha, o como también a la izquierda. La región crítica, será utilizada para todas las pruebas de hipótesis realizadas.

Figura 40

Diagrama de la región crítica y la región de aceptación de la investigación.



Nota: La figura muestra los valores de la zona de rechazo.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Hipótesis específica 1

4.3.1.1 Planteamiento de la hipótesis

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible.

4.3.1.2 Nivel de significación

Se consideró $\alpha=0.05$ que corresponde al 5%.

4.3.1.3 Estadístico.

Para el estadístico o “ t_c ” se calculó para cada una de las adiciones de ACR, se empezó para el primer caso por los datos obtenidos en la adición de cantera Condebamba 70% - 30% ACR hasta llegar a la adición de Condebamba 30% - 70% ACR, y para el segundo caso por los datos obtenidos en la adición de Cantera Quitasol 90%-10% ACR hasta llegar a la adición de Quitasol 50%-50% ACR, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

$t = t_c$ (“ t ” calculado).

\bar{x} : Media de la muestra 01 (con adición de ACR)

\bar{y} : Media de la muestra 02 (sin adición de ACR)

n_1 : Muestra 01 (con adición de ACR)

n_2 : Muestra 02 (sin adición de ACR)

s^2 : Desviación estándar

En las siguientes tablas e imágenes, se detalla la prueba de hipótesis realizada a la hipótesis específica 1, para las adiciones de ACR al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol.

Tabla 35

Resultados de la hipótesis específica 1 cantera Condebamba - ACR

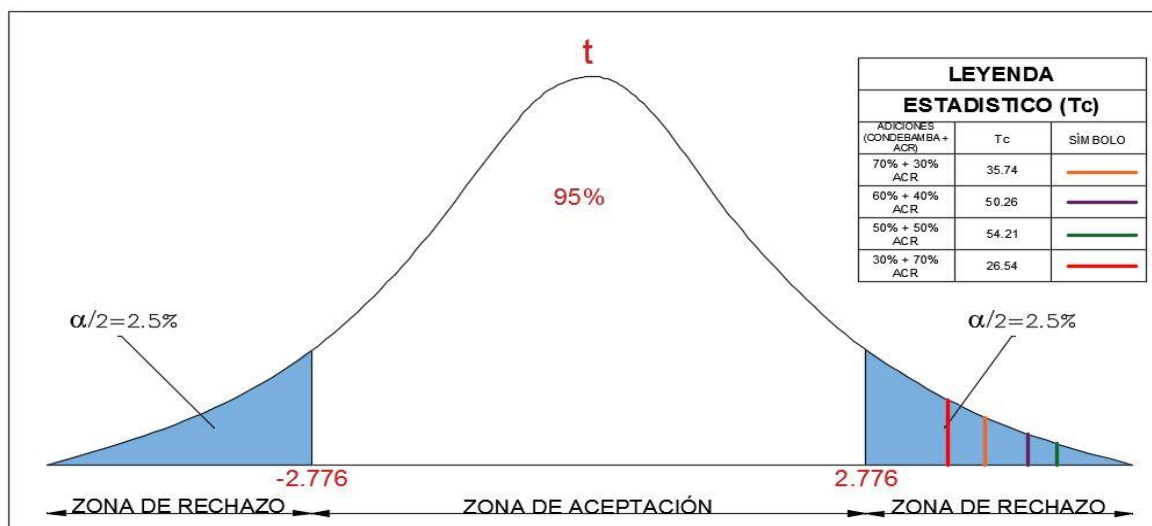
Descripción	Adiciones ACR (Condebamba % + ACR%)			
	(70%-30%)	(60%-40%)	(50%-50%)	(70%-30%)
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible. $H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible..			
Nivel de significación o significancia	0.025			
"t" tabulado	2.776			
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$			
"t" calculado	35.74	50.26	54.21	26.54
Condición	Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0			
Decisión	Como $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0 y se acepta H_a = la adición de ACR al material de la cantera Condebamba influye en el valor de CBR			

Nota: Resumen de los resultados obtenidos de los estadísticos para la hipótesis específica 1 para las adiciones de ACR a la cantera Condebamba.

Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 1 ubicados en la región crítica de la cantera de Condebamba.



Nota: Se muestra los valores t_c en la región crítica de las hipótesis realizadas para las diferentes adiciones de ACR al material de la cantera Condebamba correspondiente a la hipótesis 1.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36

Resultados de la hipótesis específica 1 de la cantera Quitasol - ACR.

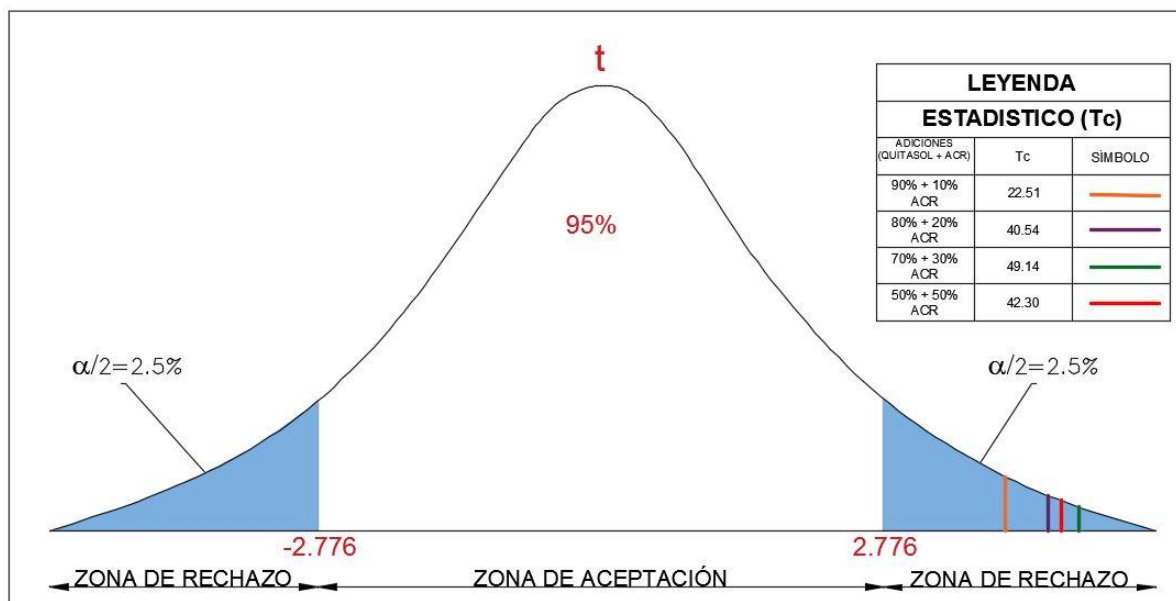
Descripción	Adiciones ACR (Quitasol % - ACR%)			
	(90%-10%)	(80%-20%)	(70%-30%)	(50%-50%)
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano. $H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.			
Nivel de significación	0.025			
"t" tabulado	2.776			
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$			
"t" calculado	22.51	40.54	49.14	42.30
Condición	Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0			
Decisión	Como $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0 y se acepta H_a = la adición de ACR al material de la cantera Quitasol influye en el valor de CBR			

Nota: Resumen de los resultados obtenidos de los estadísticos para la hipótesis específica 1 para las adiciones de ACR a la cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42

Diagrama de los estadísticos ubicados en la región crítica de la cantera de Quitasol.



Nota: Se muestra los valores t_c en la región crítica de las hipótesis realizadas para las diferentes adiciones de ACR al material de la cantera Quitasol correspondiente a la hipótesis 1.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se concluye que: la adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible.

Se tiene evidencia estadística para demostrar que influye de manera positiva la adición el ACR en el valor de CBR, ya que a mayor adición de ACR incrementa en su resistencia

4.3.2. Hipótesis específica 2

4.3.2.1 Planteamiento de la hipótesis.

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

4.3.2.2 Nivel de significancia.

Se consideró el 5%, siendo $\alpha=0.05$, pero como se consideró de dos colas se está considerando $\alpha=0.025$

4.3.2.3 Estadístico.

Para el cálculo del estadístico, se utilizó la misma fórmula utilizada y mencionada en el ítem 4.3.1.3 , obteniendo los resultados que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 37

Resultados de la hipótesis específica 2 cantera Condebamba - ACR.

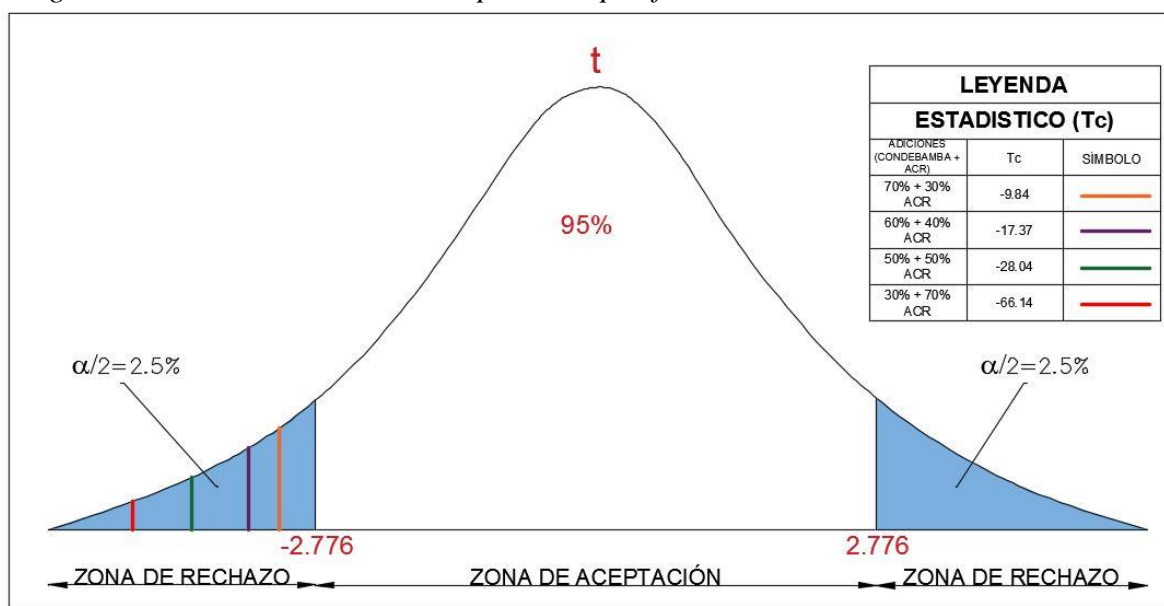
Descripción	Adiciones ACR (Condebamba % - ACR%)			
	(70%-30%)	(60%-40%)	(50%-50%)	(70%-30%)
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano. $H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.			
Nivel de significación	0.025			
"t" tabulado	2.776			
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$			
"t" calculado	-9.84	-17.37	-28.04	-66.14
Condición	Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0			
Decisión	Como $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0 y se acepta $H_a=$ la adición de ACR al material de la cantera Condebamba influye en el valor de índice de plasticidad de la muestra			

Nota: Resumen de los resultados obtenidos de los estadísticos para la hipótesis específica 2 para las adiciones de ACR a la cantera Condebamba.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43

Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 2 – cantera Condebamba.



Nota: Se muestra los valores t_c en la región crítica de las hipótesis realizadas para las diferentes adiciones de ACR al material de la cantera Condebamba correspondiente a la hipótesis 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

Resultados de la hipótesis específica 2 cantera Quitasol - ACR.

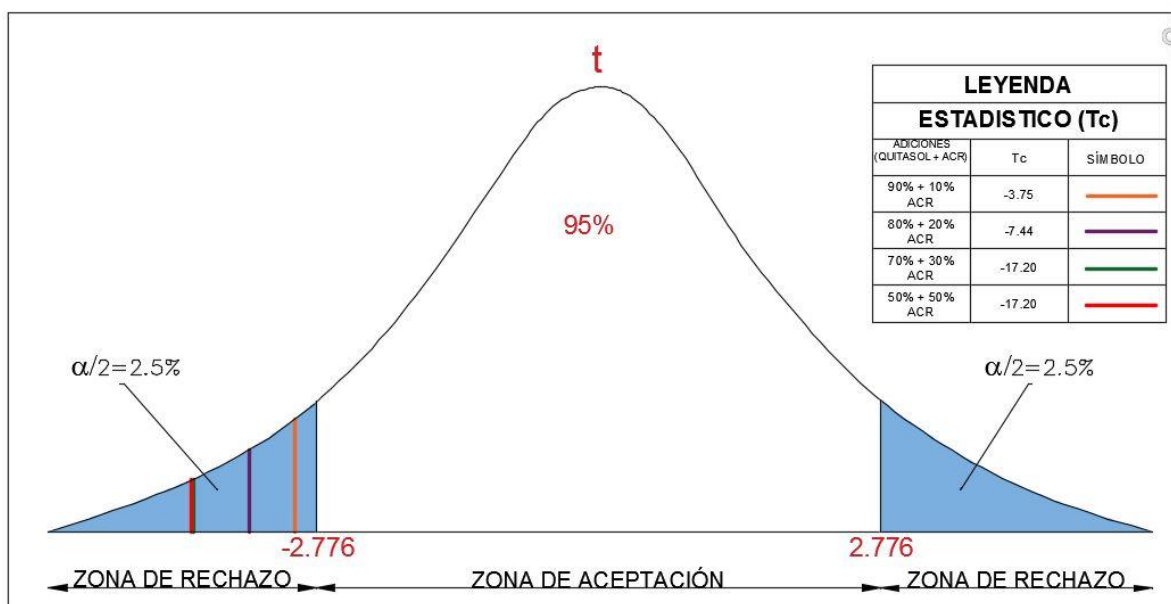
Descripción	Adiciones ACR (Quitasol % - ACR%)			
	(90%-10%)	(80%-20%)	(70%-30%)	(50%-50%)
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano. $H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.			
Nivel de significación	0.025			
"t" tabulado	2.776			
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$			
"t" calculado	-3.75	-7.44	-17.20	-17.20
Condición	Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0			
Decisión	Como $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0 y se acepta H_a = la adición de ACR al material de la cantera Quitasol influye en el valor de índice de plasticidad de la muestra			

Nota: Resumen de los resultados obtenidos de los estadísticos para la hipótesis específica 2 para las adiciones de ACR a la cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 44

Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 2, cantera Quitasol- ACR.



Nota: Se muestra los valores t_c en la región crítica de las hipótesis realizadas para las diferentes adiciones de ACR al material de la cantera Quitasol correspondiente a la hipótesis 2.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se concluye que: la adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

Se tiene evidencia estadística para demostrar, que influye de manera negativa la adición el ACR en el valor de índice de plasticidad, ya que a mayor adición de ACR decrece su valor.

4.3.3. Hipótesis específica 3

4.3.3.1 Planteamiento de la hipótesis.

$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

4.3.3.2 Nivel de significancia

Se consideró el 5%, siendo $\alpha=0.05$

4.3.3.3 Estadístico

Para el cálculo del estadístico, se utilizó la misma fórmula utilizada y mencionada en el ítem 4.3.1, obteniendo los resultados que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 39

Resultados de la hipótesis específica 3 cantera Condebamba + ACR.

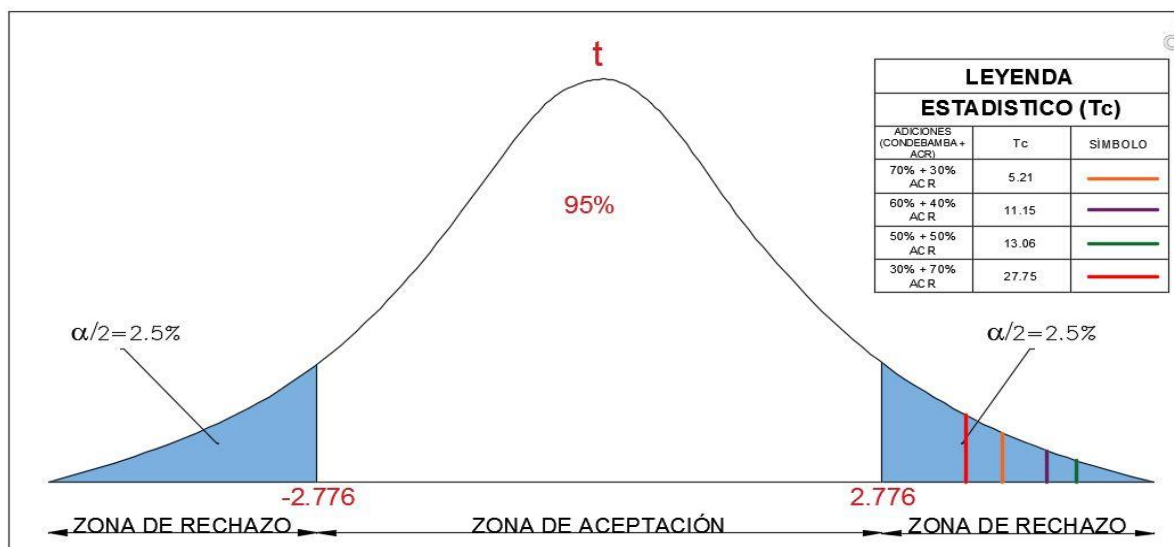
Descripción	Adiciones ACR (Condebamba % - ACR%)			
	(90%-10%)	(80%-20%)	(70%-30%)	(50%-50%)
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano. $H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.			
Nivel de significación	0.025			
"t" tabulado	2.776			
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$			
"t" calculado	5.21	11.15	13.06	27.75
Condición	Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0			
Decisión	Como $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0 y se acepta H_a = la adición de ACR al material de la cantera Condebamba influye en el valor de equivalente de arena de la muestra			

Nota: Resumen de los resultados obtenidos de los estadísticos para la hipótesis específica 3, para las adiciones de ACR a la cantera Condebamba.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45

Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 3, cantera Condebamba- ACR.



Nota: Se muestra los valores t_c en la región crítica de las hipótesis realizadas para las diferentes adiciones de ACR al material de la cantera Condebamba correspondiente a la hipótesis 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40

Resultados de la hipótesis específica 3 cantera Quitasol - ACR.

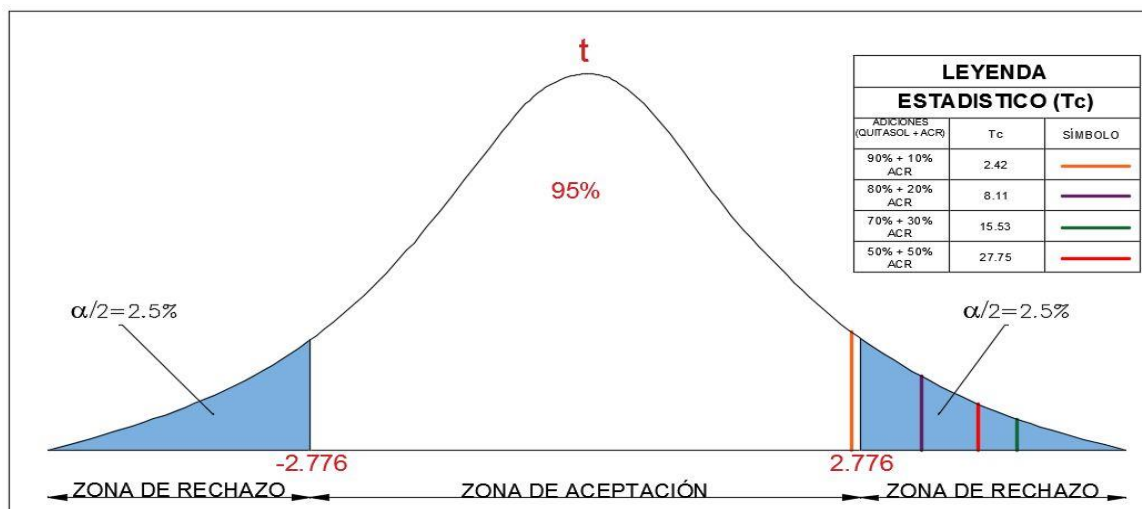
Descripción	Adiciones ACR (Quitasol % - ACR%)			
	(90%-10%)	(80%-20%)	(70%-30%)	(50%-50%)
Planteamiento de hipótesis	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano. $H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.			
Nivel de significación	0.025			
"t" tabulado	2.776			
Región crítica	$<-\infty; -2.776]$ y $[2.776; +\infty>$			
"t" calculado	2.42	8.11	15.53	27.75
Condición	Si $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0			
Decisión	Como $t_c \in R.C. \Rightarrow$ Se rechaza H_0 y se acepta H_a = la adición de ACR al material de la cantera Quitasol influye en el valor de equivalente de arena de la muestra			

Nota: Resumen de los resultados obtenidos de los estadísticos para la hipótesis específica 2, para las adiciones de ACR a la cantera Quitasol.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 46

Diagrama de los estadísticos de la hipótesis específica 3, cantera Quitasol - ACR.



Nota: Se muestra los valores t_c en la región crítica de las hipótesis realizadas para las diferentes adiciones de ACR al material de la cantera Quitasol correspondiente a la hipótesis 3.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se concluye que: la adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.

Se tiene evidencia estadística para demostrar que influye de manera positiva la adición del ACR en el valor de índice de plasticidad, ya que a mayor adición de ACR incrementa su valor.

Tabla 41

Resumen de decisiones adoptadas para las pruebas de hipótesis.

Descripción	Planteamiento de hipótesis	Decisión
Hipótesis 1	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano. $H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.	La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de CBR de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.
Hipótesis 2	$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de	La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la

	<p>Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.</p> <p>$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de índice de plasticidad de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.</p>	<p>base de pavimento flexible de tránsito liviano.</p>
	<p>$H_0: [\mu_x = \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, no influye en el valor de equivalente de arena de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible.</p>	<p>La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de equivalente de arenas de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.</p>
Hipótesis 3	<p>$H_a: [\mu_x \neq \mu_y]$ La adición de agregado de concreto reciclado, influye en el valor de equivalente de arenas de las canteras de Condebamba y Quitasol para la base de pavimento flexible de tránsito liviano.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

De acuerdo a los diversos ensayos realizados y tras realizar los análisis sobre la influencia del de la adición de ACR al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol, se concluye lo siguiente:

1. La influencia de la adición de ACR al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol en el valor de CBR se evidenció de manera positiva en todos los porcentajes de adición que se consideró en la investigación, estas adiciones para la cantera Condebamba - ACR fueron del: 70% Condebamba - 30 % ACR, 60% Condebamba - 40 % ACR, 50% Condebamba - 50 % ACR y 30% Condebamba - 70 % ACR. Los valores de CBR al 100% de su máxima densidad seca se obtuvieron los siguientes resultados: 156.8%, 179.9%, 184.8%, 141.3% respectivamente para cada adición según lo mostrado en la Tabla 25. Dichas adiciones incrementan su resistencia en el valor de CBR. La combinación óptima es 50% - 50%, obteniendo un valor de 184.8%, la siguiente combinación es de 30% - 70% y a partir de ello empieza a decrecer la resistencia de suelo obteniéndose un valor de 143.3%. Dichos resultados son superiores al valor de CBR de la cantera Condebamba con un valor de CBR de 97.0%.

Para la cantera Quitasol, se realizaron las siguientes adiciones con ACR: 90% Quitasol - 10 % ACR, 80% Quitasol - 20 % ACR, 70% Quitasol - 30 % ACR y 50% Quitasol - 50 % ACR. Los valores de CBR al 100% de su máxima densidad seca se obtuvieron los siguientes resultados: 123.7%, 146.3%, 159.1%, 153.3%, respectivamente, para cada adición según lo mostrado en la Tabla 28. Dichas adiciones incrementan su resistencia en el valor de CBR. La combinación óptima es 70% - 30%, obteniendo un valor de 159.10%, la siguiente combinación es de 50% - 50% y a partir de ello empieza a decrecer la resistencia del suelo, obteniéndose un valor de 153.3%, dichos resultados son superiores al valor de CBR de la cantera Quitasol con un valor de CBR de 93.40%.

2. La influencia de la adición de ACR al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol en el valor de índice de plasticidad, se evidenció de manera negativa en todos los porcentajes de adición que se consideró en la investigación, estas adiciones para la cantera Condebamba - ACR fueron del: 70% Condebamba - 30 % ACR, 60% Condebamba - 40 % ACR, 50% Condebamba - 50 % ACR y 30% Condebamba - 70 % ACR. Los valores de índice de plasticidad fueron los siguientes resultados: 4%, 3%, 3% y 0% respectivamente para cada adición según lo mostrado en la Tabla 29. Dichas adiciones decrecieron con respecto al valor inicial de la cantera (6%). La combinación óptima es de 70% - 30% acuerdo a los requerimientos mínimos dados por la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones EG 2013, según la Tabla 11 especifica un máximo de IP 4% para altitudes menores a 3000 msnm.

Para la cantera Quitasol, se realizaron las siguientes adiciones con ACR: 90% Quitasol - 10 % ACR, 80% Quitasol - 20 % ACR, 70% Quitasol - 30 % ACR y 50% Quitasol - 50 % ACR. Los valores de índice de plasticidad fueron los siguientes resultados: 2%, 2%, 0% y 0%, respectivamente, para cada adición según lo mostrado en la Tabla 30. Dichas adiciones decrecieron con respecto al valor inicial de la cantera (3%). La combinación óptima es de 90% - 10% acuerdo a los requerimientos mínimos dados por la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones EG 2013 según la Tabla 11 especifica un máximo de IP 4% para altitudes menores a 3000 msnm.

3. La influencia de la adición de ACR al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol en el valor de equivalente de arena, se evidenció de manera positiva en todos los porcentajes de adición que se consideró en la investigación, estas adiciones para la cantera Condebamba - ACR fueron del: 70% Condebamba - 30 % ACR, 60% Condebamba - 40 % ACR, 50% Condebamba - 50 % ACR y 30% Condebamba - 70 % ACR. Los valores de equivalente de arena fueron los siguientes resultados: 26%, 32%,

36% y 48%, respectivamente, para cada adición según lo mostrado en la Tabla 31. Dichas adiciones se incrementaron con respecto al valor inicial de la cantera (20%). La combinación óptima es de 50% - 50% obteniéndose un valor de 36%, de acuerdo a los requerimientos mínimos dados por la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones EG 2013 según la Tabla 11 establece un mínimo de EA 35% para altitudes menores a 3000 msnm.

Para la cantera Quitasol, se realizaron las siguientes adiciones con ACR: 90% Quitasol - 10 % ACR, 80% Quitasol - 20 % ACR, 70% Quitasol - 30 % ACR y 50% Quitasol - 50 % ACR. Los valores de equivalente de arena fueron los siguientes resultados: 28%, 32%, 37% y 51%, respectivamente, para cada adición según lo mostrado en la Tabla 32. Dichas adiciones se incrementaron con respecto al valor inicial de la cantera (26%). La combinación óptima es de 70% - 30%, obteniéndose un valor de 37%, de acuerdo a los requerimientos mínimos dados por la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones EG 2013 según la Tabla 11 establece un mínimo de EA 35% para altitudes menores a 3000 msnm.

4. La influencia de la adición de ACR al material granular de las canteras de Condebamba y Quitasol en el valor de CBR, índice de plasticidad y equivalente de arena, se concluyó que; influye de manera positiva en todos los porcentajes de adición que se consideró en la investigación. Mejorando su gradación del material, pasando de la gradación "B" a la gradación "A" y haciendo que tenga un mejor comportamiento mecánico en comparación con un agregado natural.

Recomendaciones

1. Puesto que los valores de CBR obtenidos de la adición de agregado de concreto reciclado al material granular de las canteras Condebamba y Quitasol superan el mínimo recomendado por la norma (ver Tabla 8), es necesario establecer las proporciones ideales según criterios técnicos, disponibilidad de materiales, altitud de la obra a ejecutar. Para la investigación se establece que la combinación ideal es la de cantera Condebamba 50% - ACR 50% y cantera Quitasol 70% - ACR 30%. Según los resultados obtenidos, dicho material es apto para ser usado en carreteras de alto tránsito.
2. Dependiendo de la altitud de la obra, se recomienda que: para seguir disminuyendo el índice de plasticidad seguir incrementando las proporciones de adición de ACR al material de cantera de tal manera de llegar al máximo requerido por la norma EG- 2013.
3. Dependiendo de la altitud de la obra, se recomienda que: para seguir aumentando el valor de equivalente de arena seguir incrementando las proporciones de adición de ACR al material de cantera de tal manera de llegar al máximo requerido por la norma EG- 2013.
4. Es recomendable utilizar las adiciones de agregado de concreto reciclado y cantera natural hasta que cumpla los requerimientos mínimos de acuerdo a las exigencias de las especificaciones técnicas para la construcción EG 2013 y del Reglamento Nacional de Edificaciones pavimentos urbanos CE.010. será necesario establecer una adición de tal manera cumpla con todas las exigencias mínimas y máximas dadas por la norma.

Referencias bibliográficas

- Arenas de la Hoz, J. D. (2015). Influencia del curado en las propiedades mecánicas de un material de base granular compuesto por agregados de concreto reciclado. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de la Salle, Bogotá.
- Braja M., D. (2012). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México.
- Chasquero Martínez, J., & Hurtado Collantes, H. (2019). *Uso del concreto reciclado proveniente de demoliciones para la producción de afirmado [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Jaén]*. Repositorio institucional.
- Contreras Quezada, K. B., & Herrera Lazaro, V. A. (2015). Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y subbases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote-Santa-Ancash. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional de Santa, Nuevo Chimbote.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (quinta edición ed.). Mexico: Limusa.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta Edición ed.). McGRAW-HILL.
- INDECOPI. (25 de Noviembre de 1998). NTP 339.127. *Metodo de ensayo para determinar contenido de humedad*. Lima, Lima, Perú.
- INDECOPI. (26 de Junio de 2014). NTP 339.129. *Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad del suelo*. Lima, Lima, Perú.
- Minaya Gonzales, S., & Ordóñez Huamán, A. (2005). *Diseño Moderno de Pavimento Asfáltico*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Glosario de terminos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carretera: Especificaciones Técnicas generales para la construcción*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima.

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Megabyte S.A.C.
- Olivera Ríos, S. (2016). *Recomendaciones técnicas sobre las especificaciones actuales, respecto al uso de material reciclado RCD provenientes de construcciones verticales en bases y sub bases en pavimentos de la malla vial de Bogotá. [tesis de postgrado, Univ. nueva granada]*. Repositorio institucional, Bogotá.
- Olmedo Payan, O. A., & Barrera Figueroa, E. D. (2015). Utilización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) ligados con materiales cementantes en pavimentos. (*Tesis de Pregado*). Pontificia Universidad Javeriana Cali, Santiago de Cali.
- Peña Muñoz , S., Terán Puerta, J. F., Molina Sanchez, J., Dario Cañola, H., Builes Jaramillo, A., & Ubany Zuloaga , J. (2018). Evaluación de las propiedades de residuos de la construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares. Una alternativa de manejo de residuos en el valle de Aburrá . *Activa*, 79-90.
- Pérez, N., Garnica , R., & Rivera , A. (2018). Agregado de base de concreto reciclado versus agregado de base tradicional. *Instituto Mexicano del Transporte*, 171.
- Román Rodas, E. (2017). *Análisis del comportamiento de los materiales reciclados de escombros para sub-base en pavimentos flexibles en la Av. Nazca, SJJ, Lima [tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Institucional, Lima.
- Tamayo Tamayo, M. (2002). *El proceso de la investigación científica* (Cuarta Edición ed.). Limusa S.A.
- Tamayo, T. M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México: LIMUSA S.A.
- Van Dam, T., Smith, K., Truschke, C., y Vitton, S. (2011). *Using recycled concrete in MDOT's Transportation Infrastructure*. Manual Practice. Final Report. Report number: RC-1544. Michigan Tech University.
- Wilburn D. y T. G. Goonan (1998). *Aggregates From Natural And Recycled Sources: Economic Assessments for Construction Applications: Materials Flow Analysis*. Colorado, USA.

- Olorunsogo, F. T. and N. Padayachee (2002). *Performance of recycled aggregate Concrete monitored by durability indexes*. Cement and concrete Research 33 (5): 703-711.
- Nixon P.J. (1978) *Recycled concrete as an aggregate for concrete*. Materiales y construccion 11: 371-378.

ANEXOS