



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA VIAL

**Diseño de rellenos fluidos con el uso de los materiales reciclados obtenido de los escombros producidos por el terremoto en la provincia de Manabí, como reemplazo de las bases granulares de la estructura de las vías.**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Blacio Reyes, Jonathan André

DIRECTORA: Segarra Morales, María Soledad, Msc.

LOJA - ECUADOR

2018



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

*Loja, abril del 2018*

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniera.

Segarra Morales, María Soledad, Msc.

### DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación, denominado: **“Diseño de rellenos fluidos con el uso de los materiales reciclados obtenido de los escombros producidos por el terremoto en la provincia de Manabí, como reemplazo de las bases granulares de la estructura de las vías”** realizado por el ingeniero civil Blacio Reyes, Jonathan André, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, mayo de 2018

(f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Blacio Reyes, Jonathan André declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Diseño de rellenos fluidos con el uso de los materiales reciclados obtenido de los escombros producidos por el terremoto en la provincia de Manabí, como reemplazo de las bases granulares de la estructura de las vías”, de la Titulación Magíster en Ingeniería Vial, siendo María Soledad Segarra Morales director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, concepto, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

(f).....

Autor: Blacio Reyes Jonathan André

Cédula: 0704615012

## DEDICATORIA

Le doy Gracias a la vida por haberte puesto en mi camino, agradezco a Dios por toda tu compañía, bendigo la hora en que te hice mi esposa.

Ruego a los cielos que te cuiden siempre, incondicional era el amor terrenal que me tenías. Esposa mía, que desde el cielo me diste la fortaleza para poder culminar este proyecto, lamentaré toda mi vida aquel día en que te perdí.

Aunque no te vea físicamente, se que estarás a mi lado para siempre.

A ti, ELENA GABRIELA ARMIJOS TANDAZO te dedico esta tesis.

TE AMO

Y HASTA CUANDO DIOS NOS PERMITA ENCONTRARNOS OTRA VEZ.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a DIOS, porque sin él nada soy, y a él mi agradecimiento infinito por darme la oportunidad de seguirme preparando.

A nuestro Señor Jesús, por demostrarme que nada es más difícil que lo él tuvo que soportar por nosotros, ni hay mayor prueba de amor en el mundo que dar la vida por nuestros hermanos.

A mi Virgencita del Cisne, gracias por ser una madre para todos nosotros, es un honor ser uno de tus hijos.

A mi padre Angel Blacio, porque sin su amor infinito, apoyo incondicional no hubiera podido culminar mis estudios.

A mi madre Flora Reyes, gracias por ser una madre ejemplar, de llorar cuando yo lloro, de sufrir cuando yo sufro, le doy gracias a DIOS por tenerte siempre a mi lado, y por ti lo daría todo.

A Jefferson y Santiago (Blacio Reyes), DIOS no me pudo haber dado mejores hermanos, gracias por estar cuando más los necesité.

A mis amados sobrinos Anthony e Ivannita, los quiero como si fueran hijos míos.

A mi amada ahijada María Gracia, gracias por tanto amor.

Al Ing. Eduardo Torres, Gerente del Área de Concreto de SIKA S.A., gracias por su ayuda desinteresada.

Al Ing. Wilson Barahona, Técnico de SIKA S.A., por haberme permitido llegar a tan distinguida empresa y en la cual pude desarrollar mi programa experimental.

Al Ing. Jaime Pinto, Jefe de la Planta Trituradora del Gobierno Provincial Autónomo de El Oro, gracias amigo, por haberme facilitado las instalaciones y haber podido realizar la trituración de los escombros de forma técnica y ordenada, gracias por hacerme sentir que era el "Dueño de la Planta".

Mi especial agradecimiento al Ing. Msc. Alonso Zúñiga, Coordinador de la "Maestría en Ingeniería Vial", por toda su ayuda brindada durante todo este tiempo.

A mi directora Ing. Msc. María Soledad Segarra, gracias por su apoyo incondicional desde que arranqué con este proyecto, mi gratitud siempre será infinita.

Al Ing. Msc. Bolívar Maza docente de la UTPL, por su apoyo para la culminación de este trabajo.

Al Ing. Carlos Aguilar, por haberme brindado el asesoramiento técnico para poder realizar esta investigación, aportando con su gran experiencia dentro del campo de las mezclas cementantes.

A todos los profesores del programa de “Maestría en Ingeniería Vial”, mi agradecimiento eterno y sincero por todos sus conocimientos compartidos, no nos queda más que retribuirlo con aportes técnicos dentro de la vialidad, con el objetivo de hacer carreteras cada vez más seguras, cómodas, eficientes y costo efectivas.

Por último, un agradecimiento muy particular a SIKA S.A. ECUADOR, y al LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, cuya matriz se encuentra ubicada en el cantón Durán, provincia del Guayas, “GRACIAS TOTALES”, a todo el personal técnico, operativo, administrativo, talento humano y del arte culinario.

Si volviera a nacer, solo le pediría a Dios una cosa, volver a ser hijo de Flora Reyes y Angel Blacio.

Jonathan Blacio

DIOS ES MI ÚNICA ESPERANZA, CONFÍO EN ÉL Y ESTOY TRANQUILO, POR QUE ÉL  
ES MI SALVADOR.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
JUSTIFICACIÓN .....	4
HIPÓTESIS .....	4
OBJETIVO GENERAL .....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
ESTRUCTURA DE LA TESIS .....	5
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE.....	6
1.1 Residuos de construcción y demolición RCD.....	7
1.1.1 Antecedentes del reciclaje en Europa de RCD. ....	7
1.1.2 Antecedentes del reciclaje en América Latina de RCD.....	8
1.1.3 Producción de residuos de construcción y demolición en Europa. ....	8
1.1.3.1 Residuos de construcción y demolición RCD generados y utilizados por terremoto en Colombia. ....	9
1.1.3.2 Residuos de construcción y demolición RCD generados y utilizados por terremoto en Haití.....	9
1.1.4 Definición de residuo.....	9
1.1.4.1 Definición de residuo de construcción y demolición RCD.....	9
1.1.5 Gestión de los residuos de construcción y demolición RCD. ....	9
1.1.5.1 Técnicas de reciclaje utilizadas en la gestión de los RCD.....	10
1.1.5.2 Separación y almacenamiento de residuos.....	10
1.1.5.3 Transporte de residuos.....	10
1.1.5.4 Posibilidades de empleo de los RCD tratados.....	10
1.1.6 Impactos ambientales.....	11
1.1.6.1 Consumo de los recursos naturales.....	11



1.1.6.2	<b>Ventajas medioambientales de los RCD.</b>	11
1.1.7	<b>Clasificación de los residuos de construcción y demolición RCD.</b>	12
1.2	<b>Plantas de trituración para la producción de agregados reciclados</b>	13
1.2.1	<b>Plantas de trituración de reciclaje de RCD.</b>	13
1.2.2	<b>Clasificación de las plantas de trituración de residuos RCD.</b>	14
1.2.2.1	<b>Plantas de trituración de operaciones unitarias de RCD.</b>	14
1.2.2.1.1	<i>Plantas de trituración de nivel tecnológico 1 de RCD.</i>	14
1.2.2.1.2	<i>Plantas de trituración de nivel tecnológico 2 de RCD.</i>	14
1.2.2.1.3	<i>Plantas de trituración de nivel tecnológico 3 de RCD.</i>	14
1.2.2.1.4	<i>Plantas de trituración de nivel tecnológico 4 de RCD.</i>	15
1.2.2.2	<b>Plantas de trituración de RCD por su desplazamiento.</b>	15
1.2.2.2.1	<i>Plantas de trituración móviles de RCD.</i>	15
1.2.2.2.2	<i>Plantas de trituración semi-móviles de RCD.</i>	15
1.2.2.2.3	<i>Plantas de trituración fijas de RCD.</i>	15
1.2.3	<b>Diferencias entre plantas de trituración convencionales y plantas de trituración de residuos de RCD.</b>	16
1.3	<b>Agregados reciclados</b>	17
1.3.1	<b>Definición de agregados reciclados de RCD.</b>	17
1.3.2	<b>Experiencias de utilización de agregados reciclados en el extranjero.</b>	17
1.3.3	<b>Diferentes clasificaciones de agregados reciclados RCD.</b>	17
1.3.3.1	<b>Agregados reciclados por su procedencia.</b>	18
1.3.3.1.1	<i>Agregados reciclados de residuos de hormigón.</i>	18
1.3.3.1.2	<i>Agregados reciclados de mampostería.</i>	19
1.3.3.1.3	<i>Agregados reciclados cerámicos.</i>	19
1.3.3.1.4	<i>Agregados reciclados mixtos.</i>	19
1.3.3.1.5	<i>Agregados reciclados procedentes de capas de aglomerado.</i>	20
1.3.3.2	<b>Agregados reciclados de acuerdo a su granulometría.</b>	20
1.3.3.2.1	<i>Agregados de Zahorras recicladas.</i>	20
1.3.3.2.2	<i>Agregados de Gravas recicladas.</i>	20
1.3.3.2.3	<i>Arenas recicladas.</i>	20
1.3.3.2.4	<i>Filler o polvo.</i>	21
1.3.4	<b>Propiedades de los agregados finos reciclados.</b>	21
1.3.4.1	<b>Absorción de agua.</b>	21
1.3.4.2	<b>Granulometría de los agregados finos reciclados.</b>	22
1.3.4.3	<b>Densidad.</b>	22
1.3.4.4	<b>Resistencia al desgaste.</b>	22

<b>1.3.4.5 Mortero adherido</b> .....	23
1.3.4.5.1 Factores que influyen en la cantidad del mortero adherido del agregado reciclado.	24
1.3.4.5.2 Elección de la planta de trituración.	24
1.3.4.5.3 Calidad de los residuos de hormigón o mampostería a triturar.	25
<b>1.4 Rellenos Fluidos con agregados finos reciclados</b> .....	25
<b>1.4.1 Antecedentes del Relleno Fluido</b> .....	25
<b>1.4.2 Definición del Relleno Fluido</b> .....	25
<b>1.4.3 Descripción del Relleno Fluido</b> .....	26
<b>1.4.4 Clasificación de los Rellenos Fluidos</b> .....	28
<b>1.4.5 Materiales para el Relleno Fluido</b> .....	28
<b>1.4.5.1 Cemento</b> .....	29
<b>1.4.5.2 Agregado fino reciclado</b> .....	30
<b>1.4.5.3 Agua</b> .....	31
<b>1.4.5.4 Aditivos químicos</b> .....	31
1.4.5.4.1 Superplastificante.....	31
1.4.5.4.2 Retardante.....	31
1.4.5.4.3 Incorporador de aire.....	31
<b>1.4.6 Propiedades de los Rellenos Fluidos</b> .....	31
<b>1.4.6.1 Propiedades en estado fresco</b> .....	32
1.4.6.1.1 Fluidez o consistencia.....	32
1.4.6.1.2 Segregación.....	32
1.4.6.1.3 Contracción.....	33
1.4.6.1.4 Tiempo de fraguado.....	33
1.4.6.1.5 Densidad en estado fresco.....	33
<b>1.4.6.2 Propiedades en estado endurecido</b> .....	34
1.4.6.2.1 Resistencia a la compresión.....	34
1.4.6.2.2 Capacidad de soporte CBR.....	34
1.4.6.2.3 Densidad en estado endurecido.....	35
1.4.6.2.4 Permeabilidad.....	35
1.4.6.2.5 Retracción de fraguado.....	35
1.4.6.2.6 Excavabilidad.....	35
<b>CAPÍTULO II: CLASIFICACIÓN DE ESCOMBROS, PRODUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE AGREGADOS FINOS RECICLADOS, UNA VEZ QUE ESTOS ENTREN A FORMAR PARTE DE LOS RELLENOS FLUIDOS</b> .....	<b>37</b>
<b>2.1 Clasificación de escombros</b> .....	38

2.1.1	Limpieza preliminar.....	39
2.1.2	Separación manual de fragmentos ferrosos.....	39
2.2	Características de planta de trituración a utilizar.....	40
2.2.1	Triturador primario de mandíbula.....	40
2.2.2	Triturador secundario de cono.....	41
2.3	Trituración de los RCD del terremoto de las clasificaciones 1 y 2.....	41
2.4	Ciclos de trituración para eliminar el mortero adherido de los AFR.....	43
2.5	Obtención de agregados finos reciclados.....	43
2.6	Características propias de los agregados finos reciclados.....	44
2.6.1	Análisis del Mortero adherido en el agregado fino reciclado.....	44
2.6.2	Influencia de la elevada absorción de agua de los agregados finos reciclados sobre las propiedades de los rellenos fluidos.....	45
2.6.2.1	<b>Técnica de la pre-saturación aplicada a los agregados finos reciclados.</b> 45	
2.6.2.1.1	<i>Pasos para la pre-saturación de los agregados finos reciclados antes de introducirlos en las mezclas cementantes.....</i>	46
2.6.2.1.2	<i>Ventajas de la Pre-saturación de los agregados finos reciclados.....</i>	46
2.6.2.1.3	<i>Desventajas de la Pre-saturación de los agregados finos reciclados.....</i>	46
2.6.2.2	<b>Técnica de utilización del superplastificante.....</b>	47
2.6.2.2.1	<i>Ventajas de utilización del superplastificante.....</i>	47
2.6.2.2.2	<i>Desventajas de utilización del superplastificante.....</i>	47
2.6.3	<b>Técnica escogida para el mejoramiento de los AFR una vez que estos entren a formar parte de los Rellenos Fluidos.....</b>	47
<b>CAPÍTULO III: ESTUDIO EXPERIMENTAL.....</b>		<b>48</b>
3.1	Metodología planteada en la elaboración de los Rellenos Fluidos.....	49
3.2	Materiales para elaboración de Rellenos Fluidos con agregados finos reciclados.....	49
3.2.1	Características físicas del cemento.....	49
3.2.2	Agua para Rellenos Fluidos.....	50
3.2.3	Caracterización de los Agregados Finos Reciclados.....	50
3.2.3.1	<b>Caracterización físico-mecánica.....</b>	50
3.2.3.1.1	<i>Granulometría del agregado fino reciclado.....</i>	50
3.2.3.1.2	<i>Peso específico y absorción del agregado fino reciclado.....</i>	52
3.2.3.1.3	<i>Resistencia a la abrasión en la máquina de Los Ángeles.....</i>	53
3.3	Aditivos químicos a utilizar.....	55
3.3.1	Superplastificante.....	56
3.3.2	Retardante.....	56

3.3.3	Incorporador de aire.....	56
3.4	Dosificación de los Rellenos Fluidos con agregados finos reciclados.....	56
3.4.1	Tipos de Rellenos Fluidos a diseñar.....	56
3.4.2	Criterios de dosificación para la elaboración de los Rellenos Fluidos. ....	57
3.4.3	Método de dosificación planteado. ....	57
3.4.4	Dosificaciones planteadas.....	60
3.4.5	Preparación de los materiales. ....	64
3.4.6	Proceso de amasado.....	64
3.4.7	Elaboración de testigos.....	65
3.4.8	Curado de testigos.....	66
3.5	Ensayos para determinar las propiedades de los Rellenos Fluidos en estado fresco.....	67
3.5.1	Ensayo para determinar la consistencia.....	67
3.5.2	Proceso para determinar la densidad en estado fresco.....	68
3.5.3	Ensayo para determinar el contenido de aire.....	68
3.5.4	Ensayo para determinar el tiempo de fraguado.....	69
3.6	Ensayos para determinar las propiedades de los Rellenos Fluidos en estado endurecido .....	70
3.6.1	Ensayo de resistencia a compresión simple. ....	70
3.6.2	Obtención del valor de capacidad de soporte (CBR). ....	71
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>		<b>72</b>
4.1	Resultados de las Propiedades de los Rellenos Fluidos en estado fresco .....	73
4.1.1	Consistencia o fluidez.....	73
4.1.2	Densidad en estado fresco.....	73
4.1.3	Contenido de aire.....	74
4.1.4	Tiempo de fraguado.....	75
4.2	Propiedades en estado endurecido .....	77
4.2.1	Resistencia a la compresión.....	77
4.2.2	Capacidad de soporte (CBR).....	81
4.2.3	Densidad del Relleno Fluido en estado endurecido.....	84
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>88</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>89</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>93</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de RCD en países de la Unión Europea .....	8
Tabla 2. Opciones de reciclaje de RCD .....	11
Tabla 3. Clasificación de los componentes de los residuos de construcción y demolición ....	12
Tabla 4. Esquema general de procesos de una planta de reciclaje.....	13
Tabla 5. Ventajas y Desventajas entre plantas de reciclaje móviles y fijas .....	16
Tabla 6. Tipos de agregado reciclado y aplicaciones.....	18
Tabla 7. Absorción en árido reciclado en comparación con el árido natural según varios autores .....	21
Tabla 8. Desgaste Los Ángeles del árido reciclado según varios autores.....	23
Tabla 9. Mortero adherido a los áridos según varios autores .....	24
Tabla 10. Ventajas de los materiales de baja resistencia controlada .....	27
Tabla 11. Clasificación de los Rellenos Fluidos por su densidad y resistencia.....	28
Tabla 12. Clasificación de los R.F de acuerdo a su resistencia y en función de su utilización .....	28
Tabla 13. Rango de materiales para relleno fluido .....	29
Tabla 14. Contribución de los componentes del Relleno Fluido en sus variadas características .....	29
Tabla 15. Granulometría de los agregados finos .....	30
Tabla 16. Requisitos que deben cumplir los AF para poder utilizarlos en los RF .....	30
Tabla 17. Parámetros de fluidez de mezclas del Relleno Fluido .....	32
Tabla 18. Tiempo de fraguado aproximado de un Relleno Fluido.....	33
Tabla 19. Excavabilidad de un Relleno Fluido en función de su resistencia .....	36
Tabla 20. Descripción de los AFR y AFN a utilizar en los Rellenos Fluidos.....	44
Tabla 21. Absorción de agua en los primeros 10 minutos de inmersión.....	46
Tabla 22. Descripción de los materiales que se utilizan en los Rellenos Fluidos .....	49
Tabla 23. Característica Física del cemento Tipo GU.....	50
Tabla 24. Valores de absorciones de las cuatro pruebas.....	53
Tabla 25. Resumen de valores de Resistencia a la Abrasión.....	54
Tabla 26. Tipos de Rellenos Fluidos a diseñar.....	57
Tabla 27. Proceso 1 para el cálculo del agregado fino reciclado .....	58
Tabla 28. Proceso 2 para el cálculo del agregado fino reciclado .....	58
Tabla 29. Cálculo en peso de materiales para la mezcla .....	59
Tabla 30. Diseño de Relleno Fluido de la Prueba 1.1 .....	59
Tabla 31. Peso del laboratorio (16 L) para ensayo de Relleno Fluido de la Prueba 1.1 .....	60
Tabla 32. Resultados del diseño de la Dosificación 1 para 1 m <sup>3</sup> de mezcla.....	61
Tabla 33. Resultados del diseño de la Dosificación 2 para 1 m <sup>3</sup> de mezcla.....	61
Tabla 34. Incorporación del porcentaje de aire a la suma de materiales .....	62
Tabla 35. Proceso para el cálculo de la prueba X <sub>3</sub> .....	63
Tabla 36. Diseño de Relleno Fluido de la Prueba X <sub>3</sub> .....	63
Tabla 37. Resultados del diseño de la Dosificación 3 para 1 m <sup>3</sup> de mezcla.....	64
Tabla 38. Resultados del Asentamiento de todas las pruebas .....	73
Tabla 39. Resultados de la densidad en estado fresco de todas las pruebas .....	74
Tabla 40. Resultados del contenido de aire de todas las pruebas.....	74
Tabla 41. Resultados del ensayo del proceso de fraguado.....	76
Tabla 42. Resultados del ensayo de compresión simple de la dosificación 1 .....	77

Tabla 43. Resultados del ensayo de compresión simple de la dosificación 2.....	78
Tabla 44. Resultados del ensayo de compresión simple de la dosificación 3.....	79
Tabla 45. Resultados de CBR de todas las dosificaciones y pruebas.....	82
Tabla 46. Resultados de densidad en estado endurecido.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la escombrera Pedernales .....	3
Figura 2. Composición de los RCD .....	7
Figura 3. Separación y almacenamiento de residuos.....	10
Figura 4. Residuos no contaminados.....	13
Figura 5. Planta móvil procesadora de AR.....	15
Figura 6. Planta fija de tratamiento de residuos de construcción y demolición.....	16
Figura 7. Agregado reciclado cerámico .....	19
Figura 8. Agregado reciclado mixto.....	20
Figura 9. Zona de interfaces del agregado reciclado .....	24
Figura 10. Relleno Fluido .....	25
Figura 11. Relleno Fluido usado como sub-base.....	26
Figura 12. Calzada asentada por un relleno incorrecto .....	26
Figura 13. Relleno Fluido excavado de acuerdo a su resistencia .....	36
Figura 14. Estructura afecta producto del terremoto .....	38
Figura 15. Escombrera de los RCD producto del terremoto .....	38
Figura 16. Clasificación manual de residuos de hormigón y mampostería.....	39
Figura 17. RCD limpios de las clasificaciones 1 y 2 .....	39
Figura 18. Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali) .....	40
Figura 19. Triturador primario de mandíbula.....	40
Figura 20. Triturador secundario de cono .....	41
Figura 21. Colocación de los RCD de la clasificación 1 en la tolva .....	41
Figura 22. Colocación de los RCD de la clasificación 2 en la tolva .....	42
Figura 23. Muestra X de RCD para comparación de resultados .....	42
Figura 24. Agregado fino natural para la prueba Z .....	43
Figura 25. Ciclos de trituración de clasificación 2 .....	43
Figura 26. Obtención del AFR de las clasificaciones 1 y 2.....	44
Figura 27. Residuo en que se aprecia el mortero adherido al agregado natural .....	45
Figura 28. Análisis granulométrico de la prueba Z.....	51
Figura 29. Análisis granulométrico de la prueba X .....	51
Figura 30. Toma de muestra del material y tamizado .....	51
Figura 31. Análisis granulométrico de la prueba 1 .....	52
Figura 32. Análisis granulométrico de la prueba 2.....	52
Figura 33. Ensayo de Peso Específico .....	52
Figura 34. Ensayo de Desgaste en la Máquina de Los Ángeles .....	53
Figura 35. Material ensayado con bastante polvo .....	54
Figura 36. Material de la clasificación 2 para ensayo.....	55
Figura 37. Aditivos químicos a utilizar.....	55
Figura 38. Peso de los materiales para el RF.....	64
Figura 39. Proceso de amasado .....	65
Figura 40. Elaboración de cilindros y cubos para comprobar su resistencia.....	66
Figura 41. Cilindros, cubos y muestra para ensayo de fraguado .....	66
Figura 42. Muestras colocadas en la piscina de curado .....	67
Figura 43. Medición del asentamiento .....	67
Figura 44. Peso de la mezcla para el cálculo de la densidad .....	68
Figura 45. Procedimiento para la obtención del contenido de aire .....	69

Figura 46. Procedimiento del ensayo de prueba de fraguado .....	69
Figura 47. Rotura de cilindros .....	70
Figura 48. Tiempo de Fraguado del Relleno Fluido prueba Z <sub>3</sub> .....	75
Figura 49. Tiempo de Fraguado del Relleno Fluido prueba X <sub>1</sub> .....	75
Figura 50. Tiempo de Fraguado del Relleno Fluido prueba P1. <sub>2</sub> .....	76
Figura 51. Tiempo de Fraguado del Relleno Fluido prueba P2. <sub>2</sub> .....	76
Figura 52. Resultados de la dosificación 1 .....	77
Figura 53. Resultados de la dosificación 2 .....	78
Figura 54. Resultados de la dosificación 3 .....	79
Figura 55. Resistencias de la Prueba Z y a futuro .....	80
Figura 56. Resistencias de la Prueba X y a futuro .....	80
Figura 57. Resistencias de la Prueba 1 y a futuro .....	81
Figura 58. Resistencias de la Prueba 2 y a futuro .....	81
Figura 59. Resultados de resistencia VS CBR (dosificación 1) .....	82
Figura 60. Resultados de resistencia VS CBR (dosificación 2) .....	82
Figura 61. Resultados de resistencia VS CBR (dosificación 3) .....	83



## RESUMEN

Se investigó residuos de construcción y demolición (RCD) de estructuras afectadas por el sismo de Pedernales 2016 para diseñar Rellenos Fluidos (RF), se clasificaron residuos de hormigón y mampostería, se los trituro según la norma ACI 229. Se caracterizó las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos reciclados (AFR), mismas que son inferiores a las de agregados finos naturales (AFN). Los AFR resultaron no aptos para hormigón por su elevada absorción, la gestión de los agregados gruesos reciclados (AGR), permite la sustitución hasta 50% de los agregados gruesos naturales (AGN) por sus propiedades físicas y mecánicas. Se obtuvo el diseño de mezcla para RF. Se encontró la mezcla óptima de RF para la escombrera Pedernales, con valores de los AFR en 80.62%,  $a/c = 2$  y otros componentes detallados en el texto.

**Palabras claves:** RCD, Agregado Fino Reciclado, Mortero Adherido, Elevada Absorción, Superplastificante, Rellenos Fluidos.

## ABSTRACT

Construction and demolition waste (RCD) of structures affected by the Pedernales 2016 earthquake was investigated to design Fluid Fillings (RF), concrete and masonry residues were classified, crushed according to the ACI 229 standard. Physical and chemical properties were characterized. mechanical properties of recycled fine aggregates (AFR), which are inferior to those of natural aggregates (AN). The AFR were not suitable for concrete due to its high absorption, the management of the recycled coarse aggregates (AGR), allows the substitution of up to 50% of the natural coarse aggregates (AGN) for their physical and mechanical properties. The mix design for RF was obtained. The optimal RF mixture was found for the Pedernales waste dump, with values of the AFR in 80.62%,  $a / c = 2$  and other components detailed in the text.

**KEYWORDS:** RCD, Fine Aggregate Recycled, Mortar Adherido, High Absorption, Superplasticizer, Fluid Fillings.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de utilizar los RCD, producto de la demolición de estructuras afectadas por el sismo de Pedernales del 2016, provincia de Manabí, y para que estos residuos formen parte en el campo de la vialidad, se los debe seleccionar y clasificar para su posterior trituración, para obtener AR que puedan reemplazar a los AN.

La necesidad por conseguir materiales pétreos para la construcción, ha llevado a explotar diferentes tipos de yacimientos naturales (ríos y canteras). Hace años atrás, no se tenía en cuenta el impacto ambiental negativo que se ocasionaba a la naturaleza.

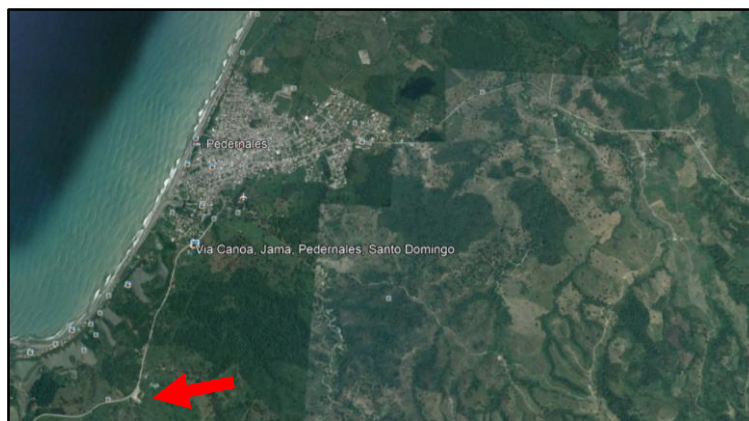


Figura 1. Ubicación de la escombrera Pedernales  
Fuente: Google Earth Pro  
Elaborado por: El autor

La escombrera donde se han depositado los residuos del sismo, han ocasionado daños ambientales en el sector, la cual no era un lugar apropiado para su depósito. Esta se encuentra ubicada a 2 km de la ciudad de Pedernales, en la vía Canoa – Jama – Pedernales – Santo Domingo, como se muestra en la figura 1.

En la actualidad existen leyes, normas y disposiciones para explotar estos recursos de forma controlable y técnica.

Dentro de esta investigación se planteará la sustitución de los agregados naturales (AN), por los agregados reciclados (AR), y que estos cumplan las mismas funciones.

La propiedad más desfavorable de los AFR es su elevada absorción de agua, producida por el mortero adherido presente en los AR; razón por la cual, los AR no son tomados muy en cuenta en la construcción. Se plantearán dos técnicas para contrarrestar este problema una vez que estos entren en contacto con los demás materiales de la mezcla.

En la elaboración de los RF, estos no requieren que los materiales cumplan con las especificaciones técnicas, lo cual es una gran ventaja para la utilización de los AFR en la fabricación de estas mezclas cementantes.

Es necesario analizar a los RF en dos estados: fresco y endurecido. En el primer estado, se lo elabora como si fuera un hormigón convencional, y en el estado endurecido se lo analiza como un suelo o base granular. Evaluando su resistencia a la compresión y capacidad de soporte CBR, con el objetivo de reemplazar las bases granulares con los RF dentro de la estructura de los pavimentos.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La elevada contaminación que producen los RCD al no ser tratados adecuadamente, generan un problema ambiental preocupante, debido a que los escombros producto del sismo, no han sido tratados de una manera adecuada.

## **JUSTIFICACIÓN**

Millones de toneladas de RCD se generan anualmente alrededor del mundo, por lo que ha despertado el interés de varios investigadores, para proponer soluciones técnico – ambientales. Proponiendo soluciones en dos aspectos, minimizar la generación de los RCD y reciclarlo para la producción de AR, evitando que se sigan explotando las minas y canteras.

Utilizar los escombros del sismo de Pedernales del 2016, para su clasificación, trituración y elaboración en los RF, estas mezclas aportarían en la reconstrucción de las vías afectadas o en la construcción de nuevas carreteras en el sector.

## **HIPÓTESIS**

Los residuos de hormigón y mampostería producto de demolición de estructuras civiles, se pueden utilizar para el diseño de Rellenos Fluidos como reemplazo de las bases granulares en la estructura de las vías de comunicación.

## **OBJETIVO GENERAL**

Investigar y diseñar Rellenos Fluidos con residuos de hormigón y mampostería de construcción y demolición de estructuras afectadas por el sismo de Pedernales 2016, como reemplazo de las bases granulares convencionales que forman parte de la estructura del pavimento de una vía.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar los materiales presentes en la escombrera Pedernales para determinar las características físicas y mecánicas que permitan diseñar Rellenos Fluidos.
- Obtener las características mecánicas de los materiales reciclados, previamente evaluados mediante ensayos que cumplan con las normas ASTM y ACI.
- Diseñar la mezcla de Relleno Fluido con agregados finos reciclados, por 1 m<sup>3</sup> de mezcla.

## **ESTRUCTURA DE LA TESIS**

Posee dos partes, la primera analiza a los AFR obtenidos de los RCD producto del sismo de Pedernales. La segunda parte se enfoca en la elaboración de los RF.

El capítulo I compete al estado del arte, se resalta el buen manejo de los RCD para obtener AFR y se describen a los RF.

El capítulo II, realiza la clasificación de los escombros, se los tritura y se obtienen y analizan los AFR, planteando dos técnicas para combatir la elevada absorción de agua, cuando estos agregados entren a formar parte de la mezcla.

El capítulo III trata del estudio experimental a realizar, estudiando las propiedades físicas y mecánicas de los AFR, y el desarrollo de los RF.

Finalmente, en el capítulo IV, compete a la discusión de resultados, y se escoge la dosificación adecuada del RF, para que este reemplace a las bases granulares de las estructuras de las vías.

## **CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE**

## 1.1 Residuos de construcción y demolición RCD

Los RCD, son producto de materiales inservibles de una construcción ó de una demolición dónde se levantará un nuevo edificio. El uso de los RCD, es utilizado en varias partes del mundo, por su bajo costo en relación a los materiales de construcción vírgenes; además que representan un aporte al medio ambiente. (Venegas & Ucros, 2014).

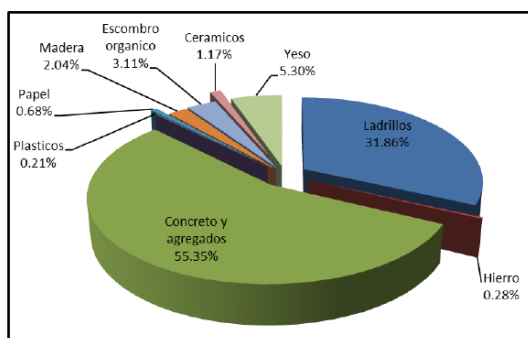


Figura 2. Composición de los RCD  
Fuente: (Escandón, 2011)  
Elaborado por: (Escandón, 2011)

### 1.1.1 Antecedentes del reciclaje en Europa de RCD.

#### Holanda

La normativa de este país permite hasta en un 20 % el reemplazo del agregado grueso reciclado AGR por el agregado natural AN, pero excluye a los hormigones pretensados en el uso del AGR. Aunque en los años de 1997 y 1998, edificaron 272 casas unifamiliares construidas únicamente con agregados reciclados (Venegas & Ucros, 2014).

#### España

La obra más significativa en este país realizada con agregados reciclados AR fue en Barcelona, ya que en el año de 1992 esa ciudad iba a albergar los juegos olímpicos, para lo cual se utilizaron 1.5 millones de toneladas, producto de demoliciones en esa misma ciudad, como parte del proyecto de la “ciudad olímpica”; antes de proceder a triturar los escombros, realizaron una selección previa, seleccionando hormigón y residuos de mampostería para su trituración; y descartando el acero, madera y otros elementos que no estén hechos a base de algún tipo de material pétreo. La utilización de este hormigón reciclado, fue utilizado como parte de la construcción de la villa olímpica, como pistas y carreteras (Venegas & Ucros, 2014).

### 1.1.2 Antecedentes del reciclaje en América Latina de RCD.

#### Colombia

Alumnos de la Universidad Nacional de Medellín, propusieron reutilizar los RCD, con la finalidad de crear una nueva materia prima para el campo de la construcción. Esta idea nace, debido al manejo indebido que se les da a los RCD, utilizando grandes áreas como escombreras, y utilizar estos escombros en agregados reciclados, para reemplazar en un 30 % a los agregados convencionales en la producción de agregados de dicho país (Venegas & Ucros, 2014).

#### Brasil

En este país amazónico y en sus principales ciudades, en vista que se han quedado prácticamente sin materiales pétreos, debido a la indiscriminada explotación de sus fuentes de materiales, tienen la necesidad de transportar los mismos desde lugares que se encuentran muy lejos con respecto a donde se los requieren, esto ha motivado a los investigadores de ese país a reutilizar los residuos de hormigón y de otras composiciones, para poder utilizarlos en sustitución de los agregados naturales (Vidal Rainho, 2015).

### 1.1.3 Producción de residuos de construcción y demolición en Europa.

Los países europeos han sido los primeros en reciclar este tipo de materiales, por lo que a continuación se presenta la producción de RCD en Europa, de acuerdo a la tabla 1:

Tabla 1. Producción de RCD en países de la Unión Europea

País	Producción Miles de toneladas	Producción Per.- Capita Kg.-Hab.-Año
ALEMANIA	53.000	880
BÉLGICA	7.000	700
DINAMARCA	6.500	1,275
ESPAÑA	11.000	285
FRANCIA	30.400	580
HOLANDA	14.00	940
IRLANDA	400	110
ITALIA	2.750	50
REINO UNIDO	50.000	900

Fuente: (Barroso & Gomez, 2001)

Elaborado por: El autor



#### ***1.1.3.1 Residuos de construcción y demolición RCD generados y utilizados por terremoto en Colombia.***

En el año de 1999, Colombia sufrió un terremoto denominado del “Eje Cafetero”, con una magnitud de 6.1 en la escala de Richter, afectando principalmente a los departamentos de Quindío y Risaralda. Se destruyeron aproximadamente unas 20,000 viviendas, generando una gran cantidad de escombros que llegaban aproximadamente a los 3,000,000.00 de m<sup>3</sup>. Y es importante clasificar los residuos de hormigón y mampostería, con respecto al resto de materiales, con el fin de volver a reutilizar los RCD, que en el caso de Colombia los usaron para la reconstrucción de las ciudades afectadas (Rocha Osorio, 2015).

#### ***1.1.3.2 Residuos de construcción y demolición RCD generados y utilizados por terremoto en Haití.***

Ocurrió en el año 2010, con una magnitud de 7.3 en la escala de Richter, además de haber colapsado cientos de edificios, casas y otras construcciones, se generaron millones de toneladas de escombros. Mismos que se utilizaron en la reconstrucción de las ciudades afectadas; la gran cantidad de RCD aportó en la construcción de muros para prevenir inundaciones, ya que por ser un país caribeño, está expuesto constantemente a sufrir desastres naturales con frecuencia (Venegas & Ucros, 2014).

#### **1.1.4 Definición de residuo.**

Es un material al que se lo podría llamar inservible, o que ya cumplió con su periodo de vida útil para lo que fue creado, y este a su vez tuvo la capacidad de separarse de un material principal (García Garrido, 2016).

##### ***1.1.4.1 Definición de residuo de construcción y demolición RCD.***

Poseen características compatibles al ser mezcladas con otros materiales de construcción, que al utilizarlos adecuadamente no producen efectos negativos al medio ambiente. Pueden ser resultado de alguna actividad de construcción ó de algún tipo de obra civil, por ejemplo, una edificación o estructura que genere algún tipo de desperdicio o de alguna demolición (García Garrido, 2016).

#### **1.1.5 Gestión de los residuos de construcción y demolición RCD.**

Según (Vidal Rainho, 2015), la gestión de los RCD comprende una serie de mecanismos que conllevan a buscar un fin más productivo a los residuos, proporcionando ideas para su utilización, realizando una caracterización o clasificación de los escombros de acuerdo a su composición.

El principal problema para manejar los RCD, es que estos se encuentran acopiados generalmente en bruto, es decir, mezclados en residuos inservibles y servibles. La falta de una cultura ambientalista, hace que los residuos se depositen en lugares inadecuados, por lo que es importante realizar una clasificación adecuada para utilizarlos en algún tipo de actividad constructiva. (Lesheni, 2016).

#### **1.1.5.1 Técnicas de reciclaje utilizadas en la gestión de los RCD.**

Consiste en hacer una separación de residuos no utilizables y los utilizables, de estos últimos se los transporta a una planta de trituración o a un lugar donde puedan ser utilizados, proporcionando una gestión adecuada de los RCD.

#### **1.1.5.2 Separación y almacenamiento de residuos.**

Se separan los residuos peligrosos de los generales, para luego ser colocados en escombreras definitivas. Y los utilizables colocarlos en recipientes resistentes y grandes con una señalización clara y legible, separando los metales de los residuos de hormigón; y para que los residuos peligrosos tengan un lugar especial de almacenamiento (Arce & Tapia, 2014).



Figura 3. Separación y almacenamiento de residuos  
Fuente: (Arce & Tapia, 2014)  
Elaborado por: (Arce & Tapia, 2014)

#### **1.1.5.3 Transporte de residuos.**

Los vehículos deben estar en condiciones aceptables y operativas para evitar que no se derrame el material. Es aconsejable definir un rumbo de destino con anterioridad, con la finalidad de evitar el tráfico pesado en horas pico. (Arce & Tapia, 2014).

#### **1.1.5.4 Posibilidades de empleo de los RCD tratados.**

Si se les da un manejo adecuado a los RCD, estos pueden ser de mucha utilidad dentro del campo de las obras viales y la construcción en general, teniendo varias alternativas de utilización como se lo presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Opciones de reciclaje de RCD

<b>TIERRA SUPERFICIAL Y EXCAVACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reutilizar en la formación de paisajes y jardines</li> <li>◆ Reutilizar como relleno en la misma obra</li> </ul>
<b>ASFALTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reciclar como asfalto</li> <li>◆ Reciclar como base de relleno</li> <li>◆ Reciclar como relleno y recuperación de suelo</li> </ul>
<b>CONCRETO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reciclar como granulado drenante</li> <li>◆ Reciclar como estabilizado en carreteras</li> <li>◆ Recuperación de suelos para rellenos, jardines, etc.</li> </ul>
<b>OBRA DE FÁBRICA Y PEQUEÑOS ELEMENTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reutilizar los pequeños elementos (tejas, bloques, etc.)</li> <li>◆ Reutilizar como gravas en sub-bases, relleno, etc.</li> </ul>
<b>METALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reciclar en fundiciones</li> </ul>
<b>MADERA DE CONSTRUCCIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reutilizar para andamios, encofrados y vallados</li> <li>◆ Compost, chip de protección de jardines</li> <li>◆ Reciclar tableros de aglomerado</li> <li>◆ Energía</li> </ul>
<b>ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reutilizar</li> </ul>
<b>EMBALAJES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reutilizar los pallets como tarimas o tableros auxiliares para la construcción de la obra</li> <li>◆ Reciclar en nuevos embalajes o productos</li> </ul>
<b>ACEITES, PINTURAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Reutilizar en la propia obra hasta finalizar el contenido del recipiente</li> <li>◆ En caso de productos contaminados, establecer obligaciones con el proveedor para recibir devolución del residuo</li> </ul>

Fuente: (Arce & Tapia, 2014)

Elaborado por: El autor

### **1.1.6 Impactos ambientales.**

Para construir un edificio, carretera o vía, se necesita de la materia prima principal que son los agregados. Estos se obtienen de la explotación de minas y canteras, causando un daño negativo en el medio ambiente. (Vidal Rainho, 2015).

#### **1.1.6.1 Consumo de los recursos naturales.**

El área de la construcción, es uno de los sectores que más contamina a la naturaleza, consumiendo un 50 % del patrimonio natural. Por ejemplo, algunas ciudades más importantes de Brasil, no cuentan con los recursos naturales disponibles que sirvan como materiales pétreos para la construcción, el acarreo de los AN se torna demasiado costoso. (Vidal Rainho, 2015).

#### **1.1.6.2 Ventajas medioambientales de los RCD.**

El manejo adecuado de los RCD evita que se continúe aprovechando indiscriminadamente a la naturaleza con la producción de los materiales pétreos. Además, impide que se sigan creando escombreras para el depósito de los residuos, se evita la contaminación de los ríos en la producción de los AN, garantizando el agua pura. (Vidal Rainho, 2015).

### 1.1.7 Clasificación de los residuos de construcción y demolición RCD.

Según (Medina, 2015), los escombros se los puede clasificar en: *RCD aprovechables* y *RCD no aprovechables*, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los componentes de los residuos de construcción y demolición

Clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCD)			
Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RCD APROVECHABLES	Residuos inertes mezclados	Pétreos	Restos de concretos, mayólicas, ladrillos, gravas, fragmentos de roca, porcelanatos, mortero y materiales inertes que no sobrepasan el tamiz 1" de granulometría.
	Residuos de material fino		Residuos de arena fina, arena gruesa, hormigón que no sobrepasan el tamiz 1" de granulometría.
	Residuos no inertes		Plásticos, tuberías, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos, equipos de protección personal, entre otros.
	Residuos metálicos		Acero, fierro, aluminio, cobre, entre otros.
RCD NO APROVECHABLES	Residuos contaminantes	Residuos peligrosos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes, aceites, asfaltos, resinas, barnices, escorias, plomo, cenizas volantes, epóxico, envases de químicos, otros.
		Residuos desechados	Tecnopor, yeso - drywall.

Fuente: (Medina, 2015)

Elaborado por: El autor

Otra forma de clasificar a los RCD es en residuos *peligrosos* como: escombros de asbesto, pedazos de madera, restos de materiales inertes que contengan sustancias de pintura, o algún tipo de aditivo químico y residuos *no peligrosos* como: restos de mampostería, escombros de hormigón, residuos de cerámica. (Arce & Tapia, 2014).

(Lesheni, 2016) define la clasificación de los RCD en dos grupos los cuales son:

Grupo 1: *Residuos de tierras y materiales pétreos*, producto de excavaciones. De estos se desprenden materiales que pueden considerar aptos para incluirlos en la estructura del pavimento de una vía, siempre y cuando sean de bajo tránsito, además sirven como relleno de terraplenes.

Grupo 2: *Escombros*, este grupo son particularmente los RCD; es decir el resultado de los desperdicios inertes de las construcciones o derrocamiento de algún tipo de estructura o edificio, teniendo como resultado bloques de hormigón macizo, restos de mampostería, acero y cerámica.

Como última clasificación de los RCD, se menciona a la descrita por (Cruz García & Velásquez Yáñez, 2004), la cual los divide en: *RCD no contaminados* (que se los puede reciclar) como los de la fig. 4, y en *RCD contaminados*.



Figura 4. Residuos no contaminados  
 Fuente: (Begliardo, 2011)  
 Elaborado por: (Begliardo, 2011)

## 1.2 Plantas de trituración para la producción de agregados reciclados

Las plantas de trituración para la obtención de los AR, se asemejan bastante a las plantas de trituración convencionales, estos poseen prácticamente las mismas partes mecánicas, como por ejemplo: triturador primario de mandíbulas, rodillos de impacto, bandas transportadoras, zarandas para separación de tamaño de agregados (García Garrido, 2016).

La óptima utilización de estas plantas, consiste en realizar una separación previa en el lugar donde se producen los RCD, con la finalidad de obtener AR de calidad, aunque este proceso resulte un costo adicional en la producción de estos agregados.

### 1.2.1 Plantas de trituración de reciclaje de RCD.

Para una mejor producción de AR, y aprovechamiento de los RCD, es necesario conocer varios aspectos generales de las plantas a utilizar, como se lo muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Esquema general de procesos de una planta de reciclaje

Etapa	Tipo de Proceso	Proceso
Control de admisión	Manual	Control organoléptico inicial (color, olor y textura)
	Manual y/o informático	Documentación de origen
	Manual	Identificación de contaminaciones
	Manual y/o informático	Pesaje
	Manual	Definición de acopios específicos por material de entrada
Pre tratamiento (separación de entrada)	Manual	Separación manual en acopio
	Mecánico	Separación manual en acopio (uso de martillos, palas y retroexcavadoras)
Precribado	Mecánico	Alimentador precribador
		Trómel

Clasificación y limpieza	Manual	Cabina Triaje
	Mecánico	Trómel
		Electroimanes
		Lavadoras
		Sopladores
Ciclón		
Trituración	Mecánico	Mandíbulas
		Impacto
		Conos
Cribado	Mecánico	Cintas y criba

Fuente: (Vidal Rainho, 2015)  
Elaborado por: El autor

### **1.2.2 Clasificación de las plantas de trituración de residuos RCD.**

Las plantas de trituración para la producción de AR, se clasifica en dos grupos: de acuerdo a su desplazamiento y de acuerdo a sus operaciones unitarias (tipo de AR que se desea obtener). (Barbudo, 2012) y (Sánchez de Juan, 2004).

Según (García Garrido, 2016), la elección de una planta de trituración para los RCD, debe de estar en función al material AR que se quiere obtener.

#### **1.2.2.1 Plantas de trituración de operaciones unitarias de RCD.**

Tienen la particularidad de subdividirse de acuerdo a las características de los residuos que se presentan en la planta y que posteriormente darán como resultados los AR solicitados (Barbudo, 2012).

##### *1.2.2.1.1 Plantas de trituración de nivel tecnológico 1 de RCD.*

Se encargan de realizar una separación de los materiales inservibles de los aprovechables, evita que se produzcan AR contaminados y selecciona los residuos de acuerdo a sus dimensiones (Barbudo, 2012).

##### *1.2.2.1.2 Plantas de trituración de nivel tecnológico 2 de RCD.*

Produce AR de acuerdo a la granulometría que se desee, utilizados en diferentes áreas de la construcción y dando buenos resultados con su implementación (Barbudo, 2012).

##### *1.2.2.1.3 Plantas de trituración de nivel tecnológico 3 de RCD.*

Una vez producido el AR luego del proceso de molido a través de la trituración secundaria, el resultado es que los AR, cumplen con las mismas especificaciones técnicas que las del agregado natural AN (Barbudo, 2012).

#### *1.2.2.1.4 Plantas de trituración de nivel tecnológico 4 de RCD.*

No son muy utilizadas, debido a que no representan utilidad para el posible inversionista, estas plantas constan de elementos trituradores que ayudan a clasificar los residuos, así estos se encuentren humedecidos (Barbudo, 2012).

#### **1.2.2.2 Plantas de trituración de RCD por su desplazamiento.**

(Sánchez de Juan, 2004) señala que a las plantas de trituración RCD se las puede clasificar haciendo énfasis a su movilidad, las móviles y las semi-móviles producen los AR en el lugar donde se generan los RCD; en cambio las fijas se asemejan a las plantas de trituración convencionales.

##### *1.2.2.2.1 Plantas de trituración móviles de RCD.*

Tienen la ventaja de ser ubicadas en el mismo sitio donde se encuentran los residuos, pero a su vez, pueden tener inconvenientes de montaje, ya que este rubro implica una inversión económica (Sánchez de Juan, 2004). En la fig. 5, se presenta un ejemplo de este tipo de planta:



Figura 5. Planta móvil procesadora de AR

Fuente: (Silva Calfueque, 2015)

Elaborado por: (Silva Calfueque, 2015)

##### *1.2.2.2.2 Plantas de trituración semi-móviles de RCD.*

Pueden presentar inconvenientes en relación al tipo de escombros a triturar, ya que la misma solo se puede alimentar de residuos de materiales que no superen un tamaño determinado (Sánchez de Juan, 2004).

##### *1.2.2.2.3 Plantas de trituración fijas de RCD.*

(Sánchez de Juan, 2004) señala que las plantas fijas requieren una gran inversión económica, necesitan un gran espacio para sus operaciones. Sus partes deben ser lo

suficientemente resistentes, ya que no hay restricciones significativas en cuanto al tamaño de los escombros a triturar. Como se puede apreciar en la fig. 6, este tipo de planta se asemeja a las plantas de trituración convencionales.



Figura 6. Planta fija de tratamiento de residuos de construcción y demolición

Fuente: (Sánchez de Juan, 2004)

Elaborado por: (Sánchez de Juan, 2004)

Según la tabla 5, se presentan algunas diferencias entre las plantas móviles y fijas:

Tabla 5. Ventajas y Desventajas entre plantas de reciclaje móviles y fijas

INSTALACIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PLANTA MÓVIL	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Aplicable a cualquier sitio. Explotación más sencilla.</li> <li>◆ Costes de transporte y construcción reducidos.</li> <li>◆ Gastos limitados para la preparación y reforzamiento del terreno.</li> <li>◆ El material producido puede ser aplicado "in situ".</li> <li>◆ Gestión relativamente sencilla.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Altos costes de explotación (debido a transporte montaje y desmontaje).</li> <li>◆ Número de materiales producidos limitado.</li> <li>◆ Gastos de planificación más altos.</li> </ul>
PLANTA FIJA	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Aplicaciones universales debido al tamaño y concepto de la instalación.</li> <li>◆ Mejor calidad del producto.</li> <li>◆ Mayor eficacia de la instalación debido a la alta capacidad de almacenamiento.</li> <li>◆ No hay gastos de transporte, montaje y desmontaje.</li> <li>◆ Gastos de explotación bajos.</li> <li>◆ Fabricación de una gama amplia de productos, debido al almacenamiento de una gran variedad de productos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Permiso y control de las emisiones de la instalación.</li> <li>◆ Garantía para suministro de los residuos, como para la comercialización de los productos.</li> </ul>

Fuente: (Vidal Rainho, 2015)

Elaborado por: El autor

### 1.2.3 Diferencias entre plantas de trituración convencionales y plantas de trituración de residuos de RCD.

Las plantas de trituración de los RCD, poseen mecanismos que contienen imanes, con la finalidad de separar los residuos metálicos de los escombros, a diferencia de las plantas convencionales que no poseen estos elementos. Las plantas de trituración para la producción de los AR, cuentan con instalaciones especiales para una clasificación de los



materiales residuales antes de proceder a triturarlos, con esto en cierto modo se trata de homogenizar el material, la idea es triturar por separado escombros de hormigón o mampostería, con la finalidad de obtener un AR de mejor calidad.

### **1.3 Agregados reciclados**

En la presente tesis, se pondrá mucho énfasis en el agregado fino reciclado AFR, ya que es la base de la investigación que se está realizando, se estudiará a fondo este tema, con sus beneficios y desventajas en la incorporación de un AR en la elaboración de rellenos fluidos (RF).

#### **1.3.1 Definición de agregados reciclados de RCD.**

Se obtienen de la trituración de los RCD, se los considera como materiales heterogéneos, debido a la presencia de mortero adherido en el AR. (Flor Chávez, 2012).

(García Garrido, 2016) define a los AR como la buena gestión de los RCD, convirtiéndolo en un material de construcción que sirvan de reemplazo para los agregados de origen natural.

#### **1.3.2 Experiencias de utilización de agregados reciclados en el extranjero.**

##### **España**

Los AR no se utilizan con mucha frecuencia, debido a la falta de un reglamento técnico que rija su utilización, pero si existe un uso moderado de este material pétreo, y por lo general solamente se utilizan AR provenientes de escombros de concreto y de mampostería para la elaboración de sus mezclas (García Garrido, 2016).

Existen otras experiencias en otros países europeos como *Holanda, Inglaterra, Francia y Alemania* sobre el uso de AR, los cuales se han utilizado en el campo vial, incluyendo estos agregados en las bases y sub-bases (García Garrido, 2016).

#### **1.3.3 Diferentes clasificaciones de agregados reciclados RCD.**

Los AR se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, dependiendo de qué tipo de escombros se vaya a triturar. Influye en su clasificación el tipo de trituración que se le dé a los residuos, es decir; qué planta de trituración se use para la producción de los AR.

De acuerdo al tipo de AR, a estos se les puede aplicar en varias actividades como se menciona en la tabla 6:

Tabla 6. Tipos de agregado reciclado y aplicaciones

RCD	Tipo de Agregado	Aplicación	Recomendaciones
Ladrillos y materiales cerámicos	Agregados finos y gruesos producto de la separación y trituración de residuos de ladrillos, materiales cerámicos y mortero, sin contenido de materia orgánica metales o residuos peligrosos	Bloques y ladrillos de concreto prefabricados	Se pueden realizar mezclas de concreto para estos elementos con un 55 y 20% de agregados gruesos y finos reciclados respectivamente. Para lograr resistencias a la compresión que cumpla con estándares como el NTC 4026 se requiere de relaciones a/c más bajas que en las mezclas con agregado natural. Se recomienda el uso de aditivos plastificantes para disminuir la porosidad, aumentar la densidad y mejorar la durabilidad del elemento.
		Bases y Sub-Bases granulares para pavimentos	Dependiendo de los porcentajes de inclusión de agregados reciclados tanto de ladrillo como de concreto, la densidad seca de la mezcla puede bajar hasta un 19% y la humedad óptima de compactación puede aumentar hasta un 200%. El California Bearing Ratio (CBR) puede disminuir según los porcentajes de inclusión de agregado reciclado en la mezcla por lo tanto se deben generar porcentajes para cumplir especificaciones como la INVIAS 300-7 para bases como para sub-bases granulares.
		Rellenos Terraplenes y Nivelaciones topográficas	Condiciones adecuadas de compactación y la composición y porcentajes de finos y gruesos deberá cumplir con lo especificado en la tabla 220.1 de la especificación INVIAS 220-07
Vidrio	Vidrio pulverizado similar a la arena	Concreto hidráulico	Reemplazo parcial de agregado fino natural en concreto hidráulico (con cambios en la mezcla)
Llantas y neumáticos	Llantas y neumáticos procesados para obtener partículas de caucho o migas pulverizadas	Mexclas asfálticas	Puede ser usado pulverizado como sello asfáltico

Fuente: (Escandón, 2011)

Elaborador por: El autor

Los AR se pueden clasificar en: *por su procedencia y de acuerdo a su granulometría.*

### **1.3.3.1 Agregados reciclados por su procedencia.**

Se refiere al origen de los RCD y de que materiales está compuesto un determinado residuo. Es importante no mezclar los escombros unos con otros, separando los restos de hormigón con los de mampostería, para obtener AR puros.

#### *1.3.3.1.1 Agregados reciclados de residuos de hormigón.*

Estos suelen ser los de mejor calidad dentro de la clasificación de los AR, se desprenden de escombros puramente de concreto, ricos en materiales pétreos.

Pueden ser obtenidos de escombros de edificios, losas de hormigón de carreteras, elementos estructurales, etc. El principal inconveniente de estos agregados, es la alta captación de agua, debido al mortero adherido en el AN (García Garrido, 2016).

(Escandón, 2011) señala que las características fisiológicas de los AR provenientes de los residuos de hormigón, son muy distintas a la de los AN. La calidad del AR depende del tipo de escombro de concreto a triturar, es decir, si ese hormigón era de buena calidad o no, esto influirá en las propiedades del nuevo agregado, tanto en la absorción de agua como en su densidad.

#### 1.3.3.1.2 *Agregados reciclados de mampostería.*

En su composición puede predominar la arcilla. Los resultados donde se han aplicado este tipo de AR han sido buenos, depende de la aplicación que se le dé al material, ayudan a la conservación del medio ambiente, evitando que este tipo de desechos terminen en escombreras o en lugares inapropiados (Escandón, 2011).

#### 1.3.3.1.3 *Agregados reciclados cerámicos.*

(Barbudo, 2012), menciona que su procedencia principal debe de ser de residuos cerámicos, con un mínimo del 20%, y menos de un 70% aproximadamente de residuos de concreto.

Para que sean considerados como cerámicos, mínimo deben de tener dentro de sus propiedades un 65 % de ladrillo, independiente si se encuentra combinado o no con residuos de concreto. Posee también, una absorción de agua superior a la de un AN (García Garrido, 2016), ver fig. 7.



Figura 7. Agregado reciclado cerámico  
Fuente: (García González, 2016)  
Elaborado por: (García González, 2016)

#### 1.3.3.1.4 *Agregados reciclados mixtos.*

Pueden desfavorecer la resistencia de las mezclas cementantes, ya que como AR presenta una mayor absorción de agua (García Garrido, 2016), fig. 8. Están compuestos de materiales cerámicos que no sobrepasen el 20%, y residuos de concreto que oscilen de un 70% a un 90% (Barbudo, 2012).



Figura 8. Agregado reciclado mixto  
Fuente: (García González, 2016)  
Elaborado por: (García González, 2016)

#### *1.3.3.1.5 Agregados reciclados procedentes de capas de aglomerado.*

Pueden ser escombros aún más dispersos; constituidos por diferentes residuos como roca, arena y madera. Este tipo de AR tienen características básicas, los cuales se los puede utilizar también dentro del campo vial, puntualmente en la estructura de una vía y que formen parte de una base o sub-base (García Garrido, 2016).

#### **1.3.3.2 Agregados reciclados de acuerdo a su granulometría.**

Esta clasificación se basa de acuerdo al tamaño del AR, puede estar en función de la necesidad o conveniencia, es decir, qué tipo de agregado se desea producir o crear en una planta de trituración.

##### *1.3.3.2.1 Agregados de Zahorras recicladas.*

Son de distintas dimensiones, su tamaño se encuentra entre 0 – 40 mm (García Garrido, 2016), estos pueden crearse de suelos granulares y pueden ser utilizados en rellenos de terraplenes y en carreteras.

##### *1.3.3.2.2 Agregados de Gravas recicladas.*

El tamaño de estos agregados se encuentra entre 4–8 mm (García Garrido, 2016), dependiendo de su limpieza, se puede ocupar en la elaboración de mezclas cementantes o si se encuentra con impurezas podría formar parte de una base o sub-base.

##### *1.3.3.2.3 Arenas recicladas.*

Su granulometría varía entre 2–4 mm (Barbudo, 2012), con este tipo de agregado se pueden elaborar los RF, ya que este es un mortero.

#### 1.3.3.2.4 Filler o polvo.

Poseen una granulometría menor a 0.063 mm, si no se lo usa adecuadamente podría presentar problemas en las mezclas, ya que por ser un AFR absorbe grandes cantidades de agua (Barbudo, 2012).

#### 1.3.4 Propiedades de los agregados finos reciclados.

El agregado representa un 80 % de la masa total de las mezclas cementantes, no actúa en el proceso químico del fraguado.

Dentro de los AR, los más desfavorables son los AFR, ya que por su tamaño o granulometría estos absorben mayores cantidades de agua que los AGR.

##### 1.3.4.1 Absorción de agua.

(Flor Chávez, 2012) de acuerdo a sus investigaciones señala que la absorción de los AR depende de su tamaño o granulometría, es decir que los AFR son los que mayor agua absorben dentro de una mezcla. Esto se debe a la presencia del mortero adherido.

En la tabla 7, Se mencionan diferentes absorciones de los AR de acuerdo a su tamaño:

Tabla 7. Absorción en árido reciclado en comparación con el árido natural según varios autores

Referencia	Fracción mm	Absorción árido grueso reciclado	Absorción árido grueso natural	Tipo de árido grueso natural	Observaciones
Hansen y Narud, 1983	4-8 8-16 16-32,0	8,5; 8,7; 8,7 5,0; 5,4; 5,7 3,8; 4,0; 3,7	3,70 1,8 0,8	Calizo	Razón a/c 0,40; 0,70; 1,20 respectivamente
Sri Ravindrarah y Tan, 1985	5-37,5	5,4; 4,5; 4,7	0,3	Granítico	Razón a/c 0,51; 0,60; 0,73 respectivamente
Sri Ravindrarah y et at, 1988	4,75-9,5 9,5-13,2 13,2-19,0 > 19,9	6,4 5,5 5,4 5,4	0,35	Granítico	f'c: 60 Mpa
Tavakoli y Soroushian, 1996	4,5-19,0 4,75-25,0	4,5; 8,1 3,6; 6,6	2,0 1,0	Calizo	f'c: 50 y 44 Mpa, respectivamente
Gómez et at, 2001	5-10,0 10-20,0	7,0 6,0	1,1 0,9	Calizo	
Poon et at, 2004	4,75-10,0 10,0-20,0	7,6 6,3	1,2 1,2	Granítico	
Buyle-B y Hadjieva-Z, 2002	6-20,0	6,0	0,2	Silíceo triturado	
Hernández y Fornasier, 2005	4,75-20,0 6-20,0	5,0 5,1	0,5 0,5	Granítico Granítico	Laboratorio Planta
Cuneo Simian y Duran, 2002	4,75-19,0 4,75-19,0 4,75-19,0	5,5 6,8 5,8	0,2 0,8 0,6	Granítico Silíceo triturado Basalto	a/c: 0,56
Katz, 2003	2,36-9,5 9,5-25,0	9,7; 8,1; 8,0 3,7; 4,1; 4,9			AGR a edades 1, 3 y 28 días

Padmini et al, 2009	4,75-10,0	4,6; 4,8; 5,0	0,3	Granítico	f'c: 34, 48, 55 Mpa, respectivamente
	4,75-20,0	3,7; 4,1; 4,9	0,3		
	4,75-40,0	2,2; 2,5; 2,8	0,3		

Fuente: (Flor Chávez, 2012)

Elaborado por: El autor

(Sánchez de Juan, 2004), señala que no es aconsejable utilizar fracciones finas recicladas en la concepción de un nuevo hormigón, ya que estos son los más desfavorables de acuerdo a su absorción. En gran parte la absorción de los AR está en función de la resistencia de origen del escombros o residuo triturado.

#### **1.3.4.2 Granulometría de los agregados finos reciclados.**

Depende de la planta de trituración o proceso de machaqueo de los escombros (Sánchez de Juan, 2004); algunas plantas trituradoras, tienen la opción de modificar sus partes mecánicas con la finalidad de ajustar el tamaño y porcentajes de los AR (Agreda & Moncada, 2015).

Sin embargo, (Flor Chávez, 2012) señala que la granulometría de los AR es ajena a la calidad del hormigón del residuo a triturar, y está en función del tipo de trituración que se le dé a los escombros; si se desea una mayor cantidad de AFR es aconsejable utilizar plantas trituración de impacto, en cambio si desea disminuir la cantidad de AFR se debe escoger una trituradora de mandíbulas.

#### **1.3.4.3 Densidad.**

(Sánchez de Juan, 2004) menciona que la densidad está en función del tamaño de la partícula analizada, a su vez los valores arrojados dependen del tipo de trituración que se le dé a los escombros, y si estos residuos se encuentran contaminados o no, y en un menor porcentaje a la composición de los RCD.

Dentro de los AR se pueden obtener densidades que oscilan entre 2100 – 2400 kg/m<sup>3</sup>, los cuales son menores con respecto a la de los agregados naturales; pero a su vez estos valores son aceptables (Agreda & Moncada, 2015).

#### **1.3.4.4 Resistencia al desgaste.**

Otra de las propiedades que caracterizan a los AR, es su pobre resistencia al desgaste. Los parámetros son del 12 – 43 %; para bajar estos porcentajes, se recomienda hacer varios ciclos de trituración, con la intención de obtener valores similares a los de un AN (Sánchez de Juan, 2004).

Según (Flor Chávez, 2012) y de acuerdo a la tabla 8, el del desgaste de los AR oscila entre los porcentajes del 22 – 42 %, los cuales son muy similares a los valores de 25 – 42 % que señalan (Agreda & Moncada, 2015).

Tabla 8. Desgaste Los Ángeles del árido reciclado según varios autores

Referencia	Fracción mm	Desgaste Árido grueso reciclado	Desgaste Árido grueso natural	Tipo de Árido grueso natural	Observaciones
Hansen y Narud, 1983	4-8	30,1; 32,6; 41,4	25,9	Calizo	Razón a/c 0,40; 0,70; 1,20 respectivamente
	8-16	26,7; 29,2; 37,0	22,7		
	16-32,0	22,4; 25,4; 31,5	18,8		
Sri Ravindrarajah y Tan, 1985	5-37,5	37,2; 40,8; 40,8	18,1	Granítico	Razón a/c 0,51; 0,60; 0,73 respectivamente
Sri Ravindrarajah y et at, 1988	4,75-9,5	36,2	18,5	Granítico	f'c: 60 Mpa
	9,5-13,2	31,6			
	13,2-19,0	27,7			
	> 19,0	28,8			
Hernández y Fornasier, 2005	4,75-20,0	32,0	19,0	Granítico	Laboratorio
	6-20,0	40,0	19,0	Granítico	Planta
Cuneo Simian y Duran, 1995	4,75-19,0	29,2	22,0	Granítico	a/c: 0,56
	4,75-19,0	42,5	37,0	Silíceo triturado	
	4,75-19,0	31,9	21,6	Basalto	
Gómez et at, 2001	5-10,0	29,9	21,2	Calizo	
	10-20,0	33,4	21,6	Calizo	
Tabsh y Abdelfatah, 2009	4,75-25,0	28,0; 33,0	24,0		f'c: 50 y 30 Mpa, respectivamente

Fuente: (Flor Chávez, 2012)

Elaborado por: El autor

#### **1.3.4.5 Mortero adherido.**

Esta característica es propia del AR, y es la que genera problemas al incorporarlos en las mezclas cementantes. Esta propiedad no se encuentra en los AN.

Perjudica la resistencia, propiedad importante de la mezclas cementantes, que estén elaboradas con AR (Sánchez de Juan, 2004). Este autor señala que en varias de sus investigaciones hay disconformidad entre los resultados, debido a que hay varios tipos de procedimientos, los cuales unos se basan en analizar la pasta adherida al agregado, en cambio otros estudios analizan la pasta y la arena.

(Flor Chávez, 2012) menciona en su investigación, varios porcentajes de mortero adherido presente en los AR, como se muestra en la tabla 9:

Tabla 9. Mortero adherido a los áridos según varios autores

Referencia	% Mortero Adherido	Tamaño árido
Ravindrarah 87	54 % (a/c = 0,51)	5/37,5 mm
Ravindrarah 88	20 % 45 - 65 %	20/30 mm < 0,30 mm
Yagishita	40,2 % ( a/c = 0,45)	10/20 mm
Barra M. 1966	51,7 % 52,9 %	12/20 mm 6/12 mm
Nagataki 2000	52,3 %	AG
Vázquez E. 2002	40,5 % 49,5 %	10/20 mm 5/10 mm
Sánchez M. 2005	30,8 %	4/16 mm

Fuente: (Flor Chávez, 2012)  
Elaborado por: El autor

(Chauvenic, 2013) señala que la característica más desfavorable de los AR dentro de una mezcla cementante es su elevada absorción, a causa del mortero adherido, fig. 9.

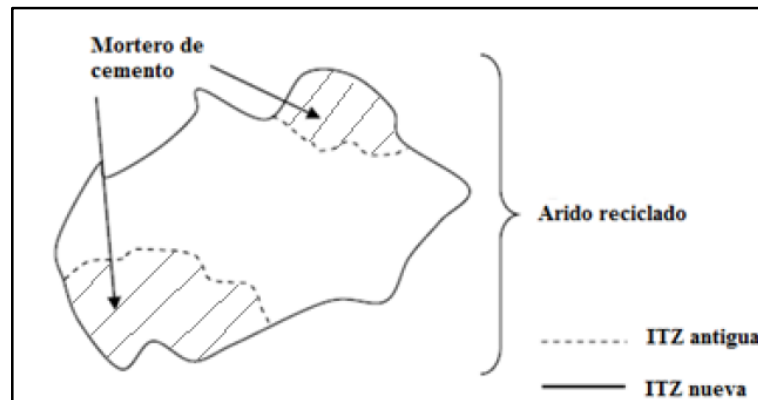


Figura 9. Zona de interfaces del agregado reciclado  
Fuente: (Chauvenic, 2013)  
Elaborado por: (Chauvenic, 2013)

*1.3.4.5.1 Factores que influyen en la cantidad del mortero adherido del agregado reciclado.*

La unión entre el AN y el mortero adherido, conforman al AR. Y los factores que influyen son los siguientes:

*1.3.4.5.2 Elección de la planta de trituración.*

Existen varios tipos de plantas para la trituración de los RCD, por lo que cada una de ellas eliminará en diferentes porcentajes el mortero adherido. Independientemente del tipo de planta, el procedimiento más conveniente para eliminarlo es haciendo varios ciclos de trituración (Sánchez de Juan, 2004).



#### 1.3.4.5.3 Calidad de los residuos de hormigón o mampostería a triturar.

De acuerdo a (Sánchez de Juan, 2004), la naturaleza o calidad del concreto del residuo o escombros que se tritura para obtener los AR, contribuye poco en la cantidad del mortero adherido.

### 1.4 Rellenos Fluidos con agregados finos reciclados

Un RF siempre se lo compara con el hormigón en estado plástico, y con un suelo o base granular en estado endurecido, este material es considerado un híbrido.

La facilidad de llegar a lugares inaccesibles, es lo que lo hacen más competitivo con relación a un suelo, y dentro del campo vial, también presenta mejores características que una base granular bien concebida.

En la elaboración de los RF, se encuentran los materiales no normalizados, los cuales pueden evadir ciertas normas o especificaciones.



Figura 10. Relleno Fluido  
Fuente: (Salgado & Peralta, 2015)  
Elaborado por: (Salgado & Peralta, 2015)

#### 1.4.1 Antecedentes del Relleno Fluido.

En 1964, se utilizó por primera vez un RF en Texas - Estados Unidos, conocido como “suelo cemento plástico”, se usó en un proyecto que consistía en un acueducto en el río Canadá para proteger la tubería. No solo cumplió con las expectativas planteadas, ya que el se lo pudo terminar más rápido y económico, en relación al análisis con respecto a los rellenos granulares (Mejía, 2010). Tienen más de tres décadas en su aplicación dentro de las obras civiles, en los países norteamericanos y europeos.

#### 1.4.2 Definición del Relleno Fluido.

La (Norma Técnica, 2000) lo define como una mezcla cementante con capacidades similares a las de un terreno granular mejorado, cuyas propiedades mecánicas se mantienen con el transcurrir del tiempo. Según el ACI 229, se denominan Materiales de Baja

Resistencia Controlada (Controlled Low Strength Materials - CLMS) (Ramme & Scholer, n.d.). La fig. 11, muestra un RF aplicado en la vialidad.



Figura 11. Relleno Fluido usado como sub-base  
Fuente: (Mejía, 2010)  
Elaborado por: (Mejía, 2010)

### 1.4.3 Descripción del Relleno Fluido.

El RF es prácticamente un mortero, debido a su composición granulométrica, ya que es una mezcla cementante, formada por arena, cemento, agua y aditivos químicos (E. Rivera, 2008).

En algunas ocasiones, se ha utilizado agregados gruesos en el RF, con la inclusión de partículas superiores a los 6 mm, pero se pueden alcanzar resistencias elevadas, lo cual no es conveniente. (Santaella & Salamanca, 2002).

(CEMEX, n.d.) resalta que la resistencia a la compresión de los RF oscila entre 7 – 85 kg/cm<sup>2</sup>, superior a este último valor ya es un hormigón. La idea del RF es limitar su resistencia, principal diferencia con un concreto.

De acuerdo a (Santaella & Salamanca, 2002) no se producen asentamientos, a diferencia de un relleno granular mal compactado, como se muestra en la fig. 12.



Figura 12. Calzada asentada por un relleno incorrecto  
Fuente: (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2013)  
Elaborado por: (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2013)

El RF puede ser una alternativa más económica, el cual ocupa un equipo mínimo de trabajo, en relación a las bases granulares (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2013). Poseen la ventaja de auto compactarse, no necesita ser vibrado, alcanza lugares inaccesibles gracias a su fluidez; y en estado endurecido trabaja mejor o igual que una base granular bien construida (E. Rivera, 2008). Los RF poseen varias ventajas en relación a una base tradicional, se detalla en la tabla 10.

Tabla 10. Ventajas de los materiales de baja resistencia controlada

<b>Ventajas de los materiales de baja resistencia controlada</b>	
Disponibilidad	Usándose localmente hay disponibilidad de materiales, los productores de concreto premezclado pueden producir CLSM cumpliendo las especificaciones de la mayoría de los proyectos.
Facilidad de entrega	Los camiones mezcladores pueden entregar las cantidades especificadas de CLSM en la obra, cuando sea necesario
Facilidad de colocación	Dependiendo del tipo y localización del vacío a rellenar, el CLSM puede ser colocado directamente desde el canalón, bombearse o en bacha. El CLSM es autonivelante y requiere poca o nula compactación. Ésto incrementa la velocidad de construcción y reduce los requerimientos de mano de obra.
Versatilidad	Las mezclas de CLSM pueden ser ajustadas para cumplir con requerimientos específicos de llenado. Las mezclas pueden ajustarse para mejorar la fluidez. Más cemento o <i>fly ash</i> pueden adicionarse para incrementar la resistencia. Pueden adicionarse aditivos, para modificar los tiempos de fraguado y otras características. Adicionando agentes espumantes al CLSM se producen rellenos ligeros y aislantes.
Resistencia y durabilidad	La capacidad de carga de los CLSM es generalmente mayor que la de los suelos compactados o rellenos granulares. El CLSM también es menos permeable, así que es más resistente a la abrasión. Para su uso como relleno permanente el CLSM puede ser diseñado para alcanzar hasta 8.3 MPa (1200 psi).
Permite una rápida apertura al tráfico	Debido a que muchos CLSM son colocados rápidamente y soportan las cargas del tráfico dentro de pocas horas, el tiempo de reparación de pavimentos es mínimo.
No presenta asentamientos	El CLSM no forma oquedades durante su colocación y no sufre asentamientos o roderas bajo la aplicación de las cargas. Esta ventaja es especialmente significativa si el relleno va ser cubierto por una reparación del pavimento. Los suelos o rellenos granulares, si no son compactados adecuadamente pueden asentarse posteriormente a la colocación del pavimento, formando grietas o hundimientos en el camino.
Reduce costos de excavación	El CLSM permite zanjas más angostas, debido a que no se requieren mayores anchos para el equipo de compactación.
Mejora la seguridad de los trabajadores	Los trabajadores pueden colocar el CLSM en la zanja, sin entrar a ella, reduciendo su exposición a posibles derrumbes.
Permite la construcción en cualquier clima	El CLSM generalmente desplazará cualquier estancamiento de agua en la zanja debidos a lluvia o derretimiento de nieve, reduciendo la necesidad de bombas. Para colocar el CLSM los materiales pueden ser calentados usando los métodos para concreto premezclado.
Puede ser excavado	El CLSM con resistencias a la compresión de 0,3 a 0,7 Mpa puede ser excavado con equipo convencional y sigue siendo lo suficientemente resistente para la mayoría de los requerimientos de un relleno.
Requiere menos supervisión	Durante la colocación, los rellenos deben ser evaluados después de cada capa. En lo referente a la compactación el CLSM es autocompactable y no requiere de estas pruebas de campo.
Reduce las necesidades de equipo	A diferencia de los suelos o rellenos granulares, el CLSM puede ser colocado sin cargadores, rodillos o pisones.
No requiere almacenamiento	Debido a que los camiones revolvedores entregan las convenidas, no es necesario almacenar el material.

Fuente: (Cervantes, 2005)

Elaborado por: El autor

#### 1.4.4 Clasificación de los Rellenos Fluidos.

Una de las clasificaciones de los RF es la propuesta por el ACI 229 (Ramme & Scholer, n.d.), en la que se se menciona su resistencia a la compresión a los 28 días y a su densidad, como se detalla en la tabla 11:

Tabla 11. Clasificación de los Rellenos Fluidos por su densidad y resistencia

Clase	Densidad en Servicio Kg/m <sup>3</sup>	Compresión mínima Kg/cm <sup>2</sup>
I	288 - 384	0,70
II	384 - 480	2,81
III	480 - 536	5,62
IV	536 - 673	8,44
V	673 - 800	11,25
VI	800 - 1281	22,50
VII	1281 - 1922	35,16

Fuente: (Ramme & Scholer, n.d.)

Elaborado por: El autor

(Granados, Landaverde, & Pineda, 2003) proponen un tipo de clasificación de acuerdo a su aplicación, en la tabla 12:

Tabla 12. Clasificación de los R.F de acuerdo a su resistencia y en función de su utilización

RESISTENCIAS CLASIFICADAS DE ACUERDO CON SU UTILIZACIÓN	
Zanjas	5 kg/cm <sup>2</sup>
Bases de andenes	Entre 10 y 20 kg/cm <sup>2</sup>
Bases de pavimentos	Entre 21 y 85 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: (Granados et al., 2003)

Elaborado por: El autor

#### 1.4.5 Materiales para el Relleno Fluido.

La ventaja principal de los RF, es que se pueden realizar con materiales disponibles o cercanos a la obra que se está construyendo (E. Rivera, 2008).

(Revuelta et al., 2010) señalan que son elaborados con materiales se utilizan en un hormigón común, pero con la ventaja de que en los RF, no es necesario que cumplan con todas las normas.

(Santaella & Salamanca, 2002) proveen ciertas recomendaciones en cuanto a las cantidades de materiales que normalmente se utilizan en los RF de acuerdo a la tabla 13:

Tabla 13. Rango de materiales para relleno fluido

<b>RANGO DE CANTIDADES DE MATERIALES PARA CONCRETO FLUIDO</b>			
<b>INSUMO</b>	<b>RANGO INFERIOR</b>	<b>RANGO MAYOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Cemento Tipo IP	30.00	120.00	Kg/m <sup>3</sup>
Cenizas Volantes	0.00	1200.00	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Fino	1500.00	1800.00	Kg/m <sup>3</sup>
Agua	193.00	344.00	Lt/m <sup>3</sup>

Fuente: (Salgado & Peralta, 2015)

Elaborado por: El autor

En la tabla 14, se describe el aporte de cada uno de sus componentes a las propiedades de los RF:

Tabla 14. Contribución de los componentes del Relleno Fluido en sus variadas características

<b>Efecto de los materiales en las propiedades de los Rellenos Fluidos</b>							
Propiedad	Resistencia	Densidad	Fluidez	Costo	Ambiente	Excavabilidad	Bombeo
Cemento	++	+	+	+	0	-	+
Agua	- / 0	-	++	0	0	+	+
Agregado fino	+	+	0	+	0	0	0
Agregado grueso	+	+	0	+	0	-	0
Ceniza volante	+	- / +	++	+	+	- / 0	+
Aire	-	-	++	+	0	+	+
Espuma pre-formada	-	--	++	+	0	+	+
Materiales No estándar	- / +	+	- / 0	- / 0	+	0	0
<b>Nota:</b>							
++	Influye o contribuye muy positivamente						
+	Influye o contribuye positivamente						
0	No contribuye						
- / 0	Influye negativamente o no influye						
-	Influye negativamente						
--	Influye o contribuye muy negativamente						

Fuente: (E. Rivera, 2008)

Elaborado por: El autor

#### **1.4.5.1 Cemento.**

Proporciona la adhesión a la mezcla, y define la resistencia del RF. La cantidad de cemento que incluye un RF oscila entre 30 – 120 kg/m<sup>3</sup> (Salgado & Peralta, 2015). De acuerdo a (Santaella & Salamanca, 2002), el cemento puede estar entre 60 – 200 kg/m<sup>3</sup>.

En la elaboración de los RF, se tiene la ventaja de fabricarlo con cualquier tipo de cemento (Revuelta et al., 2010).

### 1.4.5.2 Agregado fino reciclado.

Como en la mayoría de las mezclas cementantes, los agregados representan el mayor porcentaje de materiales que las componen, las propiedades de los mismos, influyen en sus características fisiológicas, como su asentamiento y resistencia a la compresión (E. Rivera, 2008).

(Santaella & Salamanca, 2002) mencionan dentro de sus investigaciones, que la cantidad de AF dentro de una mezcla, puede estar entre los parámetros de 1400 – 1800 kg/m<sup>3</sup>.

(Cabezas, 2010) y (Salgado & Peralta, 2015), recomiendan utilizar la norma ASTM C 33, la cual se muestra en la tabla 15; pero a su vez se tiene la ventaja de poder emplear AF que no cumplan con este tipo de especificaciones.

Tabla 15. Granulometría de los agregados finos

<b>Porcentaje Pasante según ASTM C33</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Abertura mm</b>	<b>Especificación</b>	<b>% Mín.</b>	<b>% Máx.</b>
1	9,5	3/8"	100	-
2	4,75	N° 4	95	100
3	2,36	N° 8	80	100
4	1,18	N° 16	50	85
5	0,59	N° 30	25	60
6	0,30	N° 50	10	30
7	0,149	N° 100	2	10
8	0,074	N° 200	0	0

Fuente: (Salgado & Peralta, 2015)

Elaborado por: El autor

No es conveniente la incorporación de AGR en los RF, pero en el caso de utilizarlos, estas proporciones podrían ser similares a la de los AFR (Salgado & Peralta, 2015).

(Santaella & Salamanca, 2002) sugieren las siguientes recomendaciones con respecto a las propiedades que deberían cumplir los AF, tabla 16:

Tabla 16. Requisitos que deben cumplir los AF para poder utilizarlos en los RF

<b>REQUISITOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO PERMITIDO</b>
Módulo de finura	1,7
Absorción (%)	2,5
Material pasa T200 (%)	7
Materia orgánica	Escala de color 3
Partículas deleznableles (%)	1

(Revuelta et al., 2010) mencionan que los RF que han diseñado con granulometrías de rechazo, los cuales incumplen con las normas técnicas españolas, pero sus mezclas han cumplido con las expectativas.

#### **1.4.5.3 Agua.**

El agua que comúnmente se utiliza en la elaboración de los hormigones, se considera la indicada para elaborar los RF.

Según (Salgado & Peralta, 2015), las cantidades de agua incorporadas en los RF, están en función del tipo de materiales con los que se elabore la mezcla. Y está dentro de los parámetros entre 140 – 350 L/m<sup>3</sup> (Santaella & Salamanca, 2002).

#### **1.4.5.4 Aditivos químicos.**

Desempeñan un papel importante dentro de los RF, ya que una de sus principales propiedades es la fluidez y bajas resistencias; y sin la adición de estos químicos, el RF no puede alcanzar sus propiedades.

##### *1.4.5.4.1 Superplastificante.*

Es un reductor de agua de alto rango, en algunos casos puede evitar hasta en un 30 % de incorporación de agua en el diseño del RF, sin afectar a otras características. Combate la elevada absorción de los AR (García González, 2016).

##### *1.4.5.4.2 Retardante.*

Este actúa sobre las mezclas haciendo aplazar el tiempo de fraguado, su proporción está acorde a porcentajes mínimos en relación al peso de cemento (G. Rivera, 2006).

##### *1.4.5.4.3 Incorporador de aire.*

Incorpora aire a la mezcla, provee al RF características propias, este aditivo es el que limitará su resistencia y densidad (Santaella & Salamanca, 2002). Evita que el RF exude demasiado y contribuye a la impermeabilidad de las mezclas en estado endurecido.

#### **1.4.6 Propiedades de los Rellenos Fluidos.**

Las características de los RF, es que atraviesan la frontera entre un hormigón y un relleno granular, esto quiere decir que para su elaboración se la realiza un procedimiento semejante

al de un hormigón; pero en estado endurecido, tiene propiedades semejantes a las de un suelo (Granados et al., 2003).

Cuando un RF forma parte de la estructura de un pavimento como base, su principal propiedad es su gran capacidad de aporte estructural, además no hay cambios volumétricos dentro su estructura (Santaella & Salamanca, 2002).

Sus propiedades definitivamente deben de ser analizadas en dos grupos que son: en estado fresco y estado endurecido:

#### **1.4.6.1 Propiedades en estado fresco.**

Estas son analizadas cuando el RF se encuentra en estado plástico, durante esta propiedad se evalúa su consistencia, trabajabilidad y otras propiedades más.

A su vez no necesita ser compactado, pero si es necesario colocarlo entre capas, por el empuje hidrostático que ejerce cuando el espesor supera los 30 cm (Santaella & Salamanca, 2002).

##### *1.4.6.1.1 Fluidez o consistencia.*

El RF puede tener un asentamiento elevado sin afectar a otra de sus propiedades, este rango de asentamiento varía de 18 – 24 cm según (Cervantes, 2005). La norma recomendada para medir el asentamiento es la ASTM C 143 (E. Rivera, 2008).

En la tabla 17 se muestra la clasificación de los RF, de acuerdo a su asentamiento:

Tabla 17. Parámetros de fluidez de mezclas del Relleno Fluido

<b>Fluidez</b>		
	<b>Valores</b>	<b>Unidad</b>
Baja Fluidez	< 150 mm	< 6 pulg
Fluidez normal	150 a 200 mm	6 a 8 pulg
Alta Fluidez	> 200 mm	> 8 pulg

Fuente: (Ramme & Scholer, n.d.)

Elaborado por: El autor

##### *1.4.6.1.2 Segregación.*

Los RF, tienen la ventaja de trabajar con AF, por lo que es difícil que se presente este fenómeno (Salgado & Peralta, 2015), lo que no ocurre si se trabajara AG.



#### 1.4.6.1.3 Contracción.

(Granados et al., 2003) mencionan que la pérdida de volumen o masa se debe a varios factores por la naturaleza misma de la mezcla, además esta puede perder agua por absorción a través del suelo donde es asentado el RF, y cuando exuda como cualquier mezcla cementante.

Estos valores en los RF oscilan entre 3.1 – 6.35 mm por una capa de 30 cm aproximadamente, con una r a/c no muy elevada, aunque este fenómeno puede ser desapercibido.

#### 1.4.6.1.4 Tiempo de fraguado.

Es el proceso del estado plástico al sólido, juegan un papel muy importante los aditivos químicos. La exudación del RF, es fundamental para un fraguado correcto.

El tiempo de fraguado de los RF según, (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2013) inicia desde su elaboración, hasta que el RF tenga la capacidad de resistir el peso de una persona, esto ocurre en el transcurso de 3 – 5 horas. (Santaella & Salamanca, 2002) indican que para poder soportar el peso de un vehículo necesita un rango de 24 – 36 horas. Mientras que (ARGOS, 2013) establece el tiempo del endurecimiento del RF es dos etapas que son: fraguado inicial de 5 horas y el fraguado final de 11 horas.

(E. Rivera, 2008) menciona un tiempo de fraguado estimado de acuerdo a la tabla 18.

Tabla 18. Tiempo de fraguado aproximado de un Relleno Fluido

<b>Fraguado inicial</b>	<b>Tiempo horas</b>	<b>Usos</b>
Acelerado	Menos de 3	Pendientes, climas fríos, ahorro de tiempo
Normal	3 a 4	Relleno de zanjas, oquedades, etc.
Retardado	4 o más	Climas cálidos, grandes volúmenes

Fuente: (E. Rivera, 2008)

Elaborado por: El autor

#### 1.4.6.1.5 Densidad en estado fresco.

Tiene relación directa con la resistencia, su valor varía de 1600 – 2100 kg/m<sup>3</sup>, los valores dependen de la inclusión de aditivos a la mezcla, particularmente a los incursores de aire, es decir; a mayor cantidad de aire, la mezcla será menos densa y resistente, también las hace más porosas (E. Rivera, 2008).

(Cervantes, 2005) menciona parámetros similares mencionados en el párrafo anterior, y que estos van desde 1600 – 1900 kg/m<sup>3</sup>, además destaca la importancia de esta propiedad dentro de la elaboración y diseño del RF.

#### **1.4.6.2 Propiedades en estado endurecido.**

En este estado el RF deja de parecerse a un hormigón, y adquiere características propias de los suelos.

Los beneficios obtenidos de aporte estructural que generan los RF, son mejores con respecto a las bases granulares, denominando al RF como un *súper suelo* (Cervantes, 2005).

##### *1.4.6.2.1 Resistencia a la compresión.*

Es una de las propiedades más importantes dentro del RF, y es la que indicará que si el RF puede o no sustituir a la base granular. No solo se trata de ganar un valor de resistencia adecuada, que es la que aportará en la estructura del pavimento, sino también de limitar la misma, y que esta no exceda los 85 kg/cm<sup>2</sup> (E. Rivera, 2008), ya que superior a ese valor deja de ser un RF y se convierte en un hormigón.

(Santaella & Salamanca, 2002) recomiendan que para un RF sea considerado como una sub-base este debe de tener una resistencia a compresión de 14 – 17 kg/cm<sup>2</sup>, y para sustitución de una base granular, resistencias que varíen de 15 – 25 kg/cm<sup>2</sup>.

Sin embargo, (Salgado & Peralta, 2015) establecen en su investigación, que un suelo o base granular bien compactada posee una resistencia a compresión de 1.5 – 5 kg/cm<sup>2</sup>, otros autores como (Granados et al., 2003) sostienen que el valor de resistencia a compresión de un suelo es de 3.5 – 7 kg/cm<sup>2</sup>. Esto indica que, para un RF pueda sustituir a las bases tradicionales, debe de encontrarse en estos valores.

El ensayo más utilizado para determinar su resistencia es una compresión simple. (E. Rivera, 2008) explica que los cilindros deberán tener una relación de 2-1, y también se pueden realizar cubos de dimensiones de 5 x 5 x 5 cm. De acuerdo a (Santaella & Salamanca, 2002), se debe de realizar como mínimo dos cilindros o probetas por cada edad de resistencia.

##### *1.4.6.2.2 Capacidad de soporte CBR.*

Un RF como sub-base debe de tener un CBR mínimo del 50 %, en sustitución de una base un CBR mayor al 80 %; recomendaciones presentadas por (Santaella & Salamanca, 2002).

En los RF no es conveniente realizar pruebas de CBR según (E. Rivera, 2008), misma idea compartida por (Mejía, 2010), que de acuerdo a varios ensayos de capacidad de soporte para sus mezclas, arrojan resultados poco satisfactorios para este tipo de mezclas.

La mejor manera de obtener el valor relativo de soporte o CBR de un RF para una base estructural, es aplicando una ecuación recomendada por el CEMEX; la cual fue desarrollada en México, correlacionando al CBR en función de la resistencia a compresión de los RF (Cervantes, 2005), mismo criterio y expresión lo comparten (Santaella & Salamanca, 2002):

$$\text{CBR} = 2.377 f_c + 30.25 \quad (\text{Ecuación: 1.1})$$

#### *1.4.6.2.3 Densidad en estado endurecido.*

Se la puede determinar in situ o en laboratorio, por lo general sus valores comprenden de 1842 – 2322 kg/m<sup>3</sup>, los cuales son superiores a las bases granulares compactadas (Granados et al., 2003).

#### *1.4.6.2.4 Permeabilidad.*

(Granados et al., 2003), (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2013) y (Santaella & Salamanca, 2002), resaltan que la permeabilidad de un RF es similar a la de un suelo bien compactado.

Sin embargo, existe otro punto de vista de acuerdo con (Salgado & Peralta, 2015) y (Cervantes, 2005), los cuales señalan que el RF es más permeable con respecto a los materiales granulares compactados, debido a sus poros que poseen en la mezcla.

#### *1.4.6.2.5 Retracción de fraguado.*

Una vez que el RF ha terminado de fraguar, este no experimenta cambios en su volumen, como si lo hacen las bases granulares mal ejecutadas, debido a una deficiente compactación o utilización de materiales inadecuados.

(Santaella & Salamanca, 2002) y (Salgado & Peralta, 2015), señalan que la pérdida de volumen es mínima, y está en el rango de 0.002 – 0.05 % con respecto a su masa, los cuales no inciden en su desempeño.

#### *1.4.6.2.6 Excavabilidad.*

Es la propiedad en la que el RF se asemeja a un suelo o base granular, y es que en determinadas obras los RF pueden requerir ser excavados en el futuro.

Si se aplica un RF dentro de una estructura de un pavimento, este no necesitaría ser excavado con el paso del tiempo, debido a que, en el diseño estructural de pavimentos, se lo realiza para que falle en la capa de rodadura, y no la sub-rasante o capas intermedias.

(Cervantes, 2005), menciona que la máxima resistencia a alcanzar, depende exclusivamente de la obra a ejecutar. En la tabla 19, se detallan parámetros de excavabilidad en función a su resistencia a compresión:

Tabla 19. Excavabilidad de un Relleno Fluido en función de su resistencia

<b>Resistencia a compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Excavabilidad</b>
Menor a 10	Excavable a mano (pico y pala)
Entre 10 y 30	Excavable con retroexcavadora
Mayor a 30	No excavable (fácil de demoler)

Fuente: (Cervantes, 2005)

Elaborado por: El autor

Una de las causas por lo que no es recomendable utilizar AG en la elaboración de los RF, es justamente por la posibilidad excavar a futuro el RF, y si esta mezcla ha sido elaborado con áridos gruesos, va a ser muy difícil excavarlo aunque este posea resistencias bajas, de acuerdo a (Granados et al., 2003) y al (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2013).

Con la idea de evaluar la resistencia a compresión superior a los 28 días, y contemplando la posibilidad de por algún motivo el RF necesite ser excavado, (Granados et al., 2003) recomienda seguir evaluando su resistencia a futuro, sobre todo en las mezclas que contengan altas cantidades de cemento. En la fig. 13, se muestran excavaciones en RF.



Figura 13. Relleno Fluido excavado de acuerdo a su resistencia

Fuente: (E. Rivera, 2008)

Elaborado por: (E. Rivera, 2008)

**CAPÍTULO II: CLASIFICACIÓN DE ESCOMBROS, PRODUCCIÓN Y MEJORAMIENTO  
DE AGREGADOS FINOS RECICLADOS, UNA VEZ QUE ESTOS ENTREN A FORMAR  
PARTE DE LOS RELLENOS FLUIDOS**

## 2.1 Clasificación de escombros

Este estudio se enfoca en los RCD reciclables del sismo de Pedernales, clasificándolos y triturándolos, para que sirvan como materia prima de construcción de obras viales.



Figura 14. Estructura afectada producto del terremoto

Fuente: Pedernales

Elaborado por: El autor

En la escombrera Pedernales, los residuos no han sido clasificados, se colocaron de forma inadecuada, mezclando los residuos reciclables con los que no se pueden volver a utilizar, tal y como se aprecia en la fig. 15.



Figura 15. Escombrera de los RCD producto del terremoto

Fuente: Pedernales

Elaborado por: El autor

Una vez hecha la inspección visual de la escombrera Pedernales, se ha apreciado que la mayoría de residuos están contaminados, debido a esto se realiza una clasificación manual.

Dentro del universo de escombros, se han tomado en cuenta dos clasificaciones, las cuales son: *residuos de hormigón*, que constan de fragmentos de columnas, escombros de losas de hormigón de calzada y todo tipo de residuo que sea de concreto puro. Y *residuos de mampostería*: que incluyen pedazos de ladrillos, mortero y paredes.

### **Clasificación 1: Residuos de hormigón**

La selección de los escombros se la realiza en forma manual, como se muestra en la fig. 16, con lo que se evita residuos contaminados.

### **Clasificación 2: Residuos de mampostería**

Estos no deben contener residuos cerámicos, debido a su elevada absorción de agua, en comparación con los de hormigón y mampostería; también se han descartado materiales como bloques a base de piedra pómez.



Figura 16 Clasificación manual de residuos de hormigón y mampostería  
Fuente: Escombrera Pedernales  
Elaborado por: El autor

#### **2.1.1 Limpieza preliminar.**

Es necesario realizar una limpieza previa antes de triturar los escombros en la planta, y que estos estén libres de impurezas como yeso, madera, residuos de vidrio o plástico, evitando así afectar la calidad del AFR, tal y como se muestra en la fig. 17.

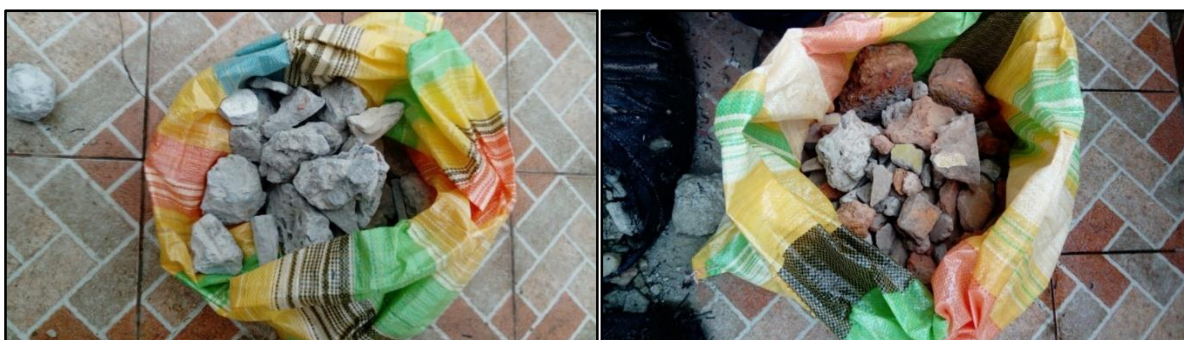


Figura 17. RCD limpios de las clasificaciones 1 y 2  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

#### **2.1.2 Separación manual de fragmentos ferrosos.**

Se tiene la precaución en la selección de los escombros de hormigón y mampostería, de no escoger materiales que contengan residuos de varillas de acero, esto debido a que pueden



afectar las partes mecánicas de la planta de trituración, también se evita que los AFR se contaminen con estas impurezas.

## 2.2 Características de planta de trituración a utilizar

Está compuesta de un triturador primario que posee mallas que separan a los materiales de acuerdo a su tamaño. Cuenta con bandas transportadoras, que son las que depositan a los agregados en los stocks.

La planta de trituración de la fig. 18, no es una planta de reciclaje de RCD, sino una planta convencional, que generalmente se utiliza para la producción de AN.



Figura 18. Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
Fuente: Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
Elaborado por: El autor

### 2.2.1 Triturador primario de mandíbula.

Consiste en una tolva de ingreso, compuesto de un alimentador que vibra y empuja el material hacia la mandíbula. Una vez chancado el material cae a la banda transportadora y de ahí va a la criba o zaranda, en donde se tamizan los materiales de acuerdo a la malla colocada, el material retenido va a la trituración secundaria.



Figura 19. Triturador primario de mandíbula  
Fuente: Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
Elaborado por: El autor



### 2.2.2 Triturador secundario de cono.

El cono posee dos mantos que son las piezas de desgaste, al momento que gira el eje concéntrico, permite que un cuerpo gire y se apegue a las paredes, en cambio el otro manto se separa de las paredes; este proceso repetitivo permite que el cono chancue los residuos.

El material chancado cae en la banda transportadora, y lo conduce nuevamente a la criba que esta se encarga de volver a triturar y separar los materiales de acuerdo a su granulometría. Este proceso conforma un ciclo de trituración, llamada banda – zaranda – cono.

El número de ciclos que trituración que se realicen, tendrá injerencia directa en toda la composición del AFR, para esta investigación se realizan 5 ciclos, para eliminar la mayor cantidad posible del mortero adherido en el AFR.



Figura 20. Triturador secundario de cono  
Fuente: Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
Elaborado por: El autor

### 2.3 Trituración de los RCD del terremoto de las clasificaciones 1 y 2

Se inicia el proceso de trituración con la *Clasificación 1*, como se indica en la fig. 21, los cuales corresponden a los *residuos de hormigón*.



Figura 21. Colocación de los RCD de la clasificación 1 en la tolva  
Fuente: Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
Elaborado por: El autor

Ahora se procede a la trituración de los residuos de la *Clasificación 2*, que corresponden a los *residuos de mampostería*, tal y como se aprecia en la fig. 22.



Figura 22. Colocación de los RCD de la clasificación 2 en la tolva  
Fuente: Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
Elaborado por: El autor

Con el objetivo de comparar los resultados de los RF, elaborados con AFR de las clasificaciones 1 y 2. Se plantea la necesidad de producir AFR de otra actividad, para lo cual se utilizan RCD de una acera en la ciudad de Machala, provincia de El Oro.

A continuación, se trituran los RCD de la fig. 23, a estos AFR los denominamos *Prueba X*.



Figura 23. Muestra X de RCD para comparación de resultados  
Fuente: Acera en demolición en la ciudad de Machala  
Elaborado por: El autor

Es importante también utilizar AFN en la elaboración de RF, con la finalidad de comparar los resultados con los AFR de la escombrera Pedernales.

Se utiliza el AFN de la Planta de Trituración de Panupali, ubicada en la provincia de El Oro, como se muestra en la fig. 24, a los que denominamos *Prueba Z*.



Figura 24. Agregado fino natural para la prueba Z  
Fuente: Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
Elaborado por: El autor

#### **2.4 Ciclos de trituración para eliminar el mortero adherido de los AFR**

La mejor forma de eliminar la mayor cantidad del mortero adherido presente en los AFR, es realizando varios ciclos de trituración. Para esta investigación se realizan 5 ciclos, como se muestra en la fig. 25.



Figura 25. Ciclos de trituración de clasificación 2  
Fuente: Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
Elaborado por: El autor

#### **2.5 Obtención de agregados finos reciclados**

Se han tomado todas las precauciones para obtener AFR, para que sean eficientes en la elaboración de los RF. Pero por más cuidados que se tengan, estos no podrán llegar a obtener las mismas características que los AFN.

Se mencionará más adelante metodologías para obtener AFR que cumplan con las expectativas, presentando dos técnicas para mejorar la capacidad de estos, cuando entren a formar parte de las mezclas cementantes.

Aunque para la elaboración de los RF no se necesitan agregados de buena calidad, o que cumplan con todas las especificaciones técnicas solicitadas. Lo que se busca es incluir a los



AFR, producto del sismo de Pedernales dentro de este tipo de mezclas cementantes. En la fig. 26, se muestra la obtención de los AFR:



Figura 26. Obtención del AFR de las clasificaciones 1 y 2  
 Fuente: Planta de trituración del G.P.A.O. (Panupali)  
 Elaborado por: El autor

Los AFR y el AFN, con los que se diseñarán y fabricarán los RF, se expresan en la tabla 20:

Tabla 20. Descripción de los AFR y AFN a utilizar en los Rellenos Fluidos

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
1	Agregado fino reciclado de hormigón	RCD residuos de hormigón del terremoto del 2016
2	Agregado fino reciclado de mampostería	RCD residuos de mampostería del terremoto del 2016
X	Agregado fino reciclado de hormigón (para comparación de resultados)	Material producido con escombros de una acera de la ciudad de Machala.
Z	Agregado fino natural (para comparación de resultados)	Material pétreo de la cantera Panupali, de la provincia de El Oro.

Fuente: El autor  
 Elaborado por: El autor

## 2.6 Características propias de los agregados finos reciclados

Los AFR no pueden ser analizados de la misma manera que los AFN, ya que presentan propiedades físicas y mecánicas diferentes entre unos y otros.

La propiedad más desfavorable del AR, es el *mortero adherido*.

### 2.6.1 Análisis del Mortero adherido en el agregado fino reciclado.

El mortero adherido al AN da como resultado el AR, el cual influye negativamente en el comportamiento de los AR dentro de las mezclas cementantes.

Del mortero adherido se deriva la *elevada absorción de agua* presente en todo el universo de los AR, lo cual incide en la *a/c*, consideración importante para la elaboración de los RF.

La mayor cantidad de mortero adherido, se presenta en el AFR, en comparación al AGR, razón por la cual el fino reciclado ha sido desechado en la elaboración de hormigones. Y la fracción gruesa reciclada se utiliza hasta en un 50 % en reemplazo de todo el volumen del árido grueso natural, de acuerdo a la investigación realizada. Lo que se busca en esta investigación es utilizar el AFR, en la elaboración de los RF.



Figura 27. Residuo en que se aprecia el mortero adherido al agregado natural  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### **2.6.2 Influencia de la elevada absorción de agua de los agregados finos reciclados sobre las propiedades de los rellenos fluidos.**

La composición múltiple de los RCD es uno de los principales problemas para determinar cuál es la causa por las que los AFR tienen una elevada absorción. Influye el tipo de trituración que se le da a los RCD en la alta absorción de los AFR; las plantas trituradoras de impacto producen AR con menores cantidades de mortero adherido, la elevada absorción de los AFR, incide directamente en la elaboración de los RF, haciendo que la a/c se incremente considerablemente. Para que la elevada absorción de agua presente en los AFR, no afecte a la dosificación de los RF, se presentan 2 técnicas para contrarrestar esta propiedad, adicional a los ciclos de trituración antes realizados.

#### ***2.6.2.1 Técnica de la pre-saturación aplicada a los agregados finos reciclados.***

Consiste en la saturación de los AFR durante un tiempo determinado, antes de que estos se mezclen con el resto de materiales de la mezcla. Para que este método sea efectivo, se debe determinar el tiempo que estos deberán estar sumergidos en agua. (García González, 2016), menciona que sumergiendo a los AR durante el lapso de 3 minutos, estos alcanzarán un valor de 47.5 %. Además, señala que para que los AR estén saturados al 100% se deben sumergir 10 días. No es necesario que los AR lleguen al 100% de saturación, sino más bien el porcentaje de saturación debe ser estudiado en cada caso.

2.6.2.1.1 *Pasos para la pre-saturación de los agregados finos reciclados antes de introducirlos en las mezclas cementantes.*

- Los agregados reciclados deben de estar totalmente secos.
- Se procede a pesar el AR dentro del cálculo realizado para el diseño.
- Se sumergen los AR por un tiempo de 3 minutos en agua y a una temperatura de 19 – 25 °C, se debe agitar el recipiente con el material durante los primeros 30 segundos.
- Retirados los AR del recipiente, se los deja chorrear por un periodo de 5 – 10 segundos, para luego introducirlos en la concretara y producir las mezclas.

En la tabla 21, se presentan porcentajes de absorción durante los 10 primeros minutos de saturación de los AR:

Tabla 21. Absorción de agua en los primeros 10 minutos de inmersión

Tiempo (minutos)	Absorción de agua (%)
0	0
1	0
2	9.7
3	47.5
4	49.5
5	50.2
6	51.0
7	51.6
8	52.1
9	52.4
10	52.7

Fuente: (García González, 2016)  
Elaborado por: El autor

2.6.2.1.2 *Ventajas de la Pre-saturación de los agregados finos reciclados.*

- La resistencia a compresión disminuye, sin embargo las mismas no dejan de cumplir con la mínima solicitada.
- Influye en forma mínima en la reducción del mortero adherido en los AR.
- En los AFR de mampostería, debido a su composición arcillosa, se pueden saturar en un menor tiempo posible.

2.6.2.1.3 *Desventajas de la Pre-saturación de los agregados finos reciclados.*

- Pérdida de tiempo al momento de la elaboración de las mezclas.
- Al momento de pre-saturar a los AFR, se adiciona más agua a la mezcla.

- Difícil control de a/c.
- Se debe controlar la temperatura del agua, dentro del rango de 19 – 25 °C.
- Los RF elaborados con AFR mediante esta técnica son más permeables, debido a que estas mezclas son porosas.

#### **2.6.2.2 Técnica de utilización del superplastificante.**

Es un aditivo químico reductor de agua de alto rango. Se lo emplea comúnmente en la fabricación de mezclas cementantes elaboradas con AR, con la ventaja de no afectar el a/c.

##### *2.6.2.2.1 Ventajas de utilización del superplastificante.*

- Es recomendada por la norma técnica española EHE-08.
- Reduce hasta en un 30% el contenido de agua fijada en el diseño.
- Proporciona una elevada fluidez.
- Contribuye en las mezclas a ser impermeables, incluso sometidas a grandes presiones de agua o por capilaridad.
- Facilita el cálculo del agua en el diseño del RF, teniendo a/c efectivo.

##### *2.6.2.2.2 Desventajas de utilización del superplastificante.*

- Incremento del costo en la elaboración de los RF.

#### **2.6.3 Técnica escogida para el mejoramiento de los AFR una vez que estos entren a formar parte de los Rellenos Fluidos.**

La pre-saturación de los AFR a gran escala complica producción de los RF, podría ser igual o más costoso que el método del superplastificante, ya que se tendría que adecuar la planta de dosificación o hacer piscinas especiales para saturar los AFR.

Para la presente investigación se escoge la *Técnica de utilización del superplastificante*, para minimizar la problemática del exceso de absorción de agua de los AFR y obtener buenos RF.

### **CAPÍTULO III: ESTUDIO EXPERIMENTAL**



### 3.1 Metodología planteada en la elaboración de los Rellenos Fluidos

Para el desarrollo experimental de este trabajo, se ha visto en la necesidad de comparar los RF elaborados con los AFR de la escombrera Pedernales, en relación a mezclas elaboradas con AFN, tanto en sus propiedades en estado plástico, como en el endurecido. Estos finos naturales con de la cantera Panupali, ubicada en el cantón Piñas, provincia de El Oro, a la cual hemos llamado *prueba Z*. Se utilizan también AFR de hormigón, provenientes de la demolición de una acera ubicada en la ciudad de Machala, los cuales se denominan *prueba X*, también para comparación de resultados. A las Clasificaciones 1 y 2, de ahora en adelante las llamaremos *prueba 1* a los AFR de hormigón, y *prueba 2* a los AFR de mampostería. La tabla 22 los describe de esta manera:

Tabla 22. Descripción de los materiales que se utilizan en los Rellenos Fluidos

PRUEBA	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
Z	-	Agregado fino natural Z	Material pétreo natural de la cantera Panupali, de la provincia de El Oro.
X	-	Agregado fino reciclado X	Material producido con escombros de hormigón de una acera de la ciudad de Machala.
1	1	Agregado fino reciclado 1	Material producido con escombros de RCD del terremoto del 2016 de la clasificación 1, residuos de hormigón.
2	2	Agregado fino reciclado 2	Material producido con escombros de RCD del terremoto del 2016 de la clasificación 2, residuos de mampostería.

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

### 3.2 Materiales para elaboración de Rellenos Fluidos con agregados finos reciclados

Para la elaboración de los RF, se diseña para 1 m<sup>3</sup> de mezcla, método sencillo y fácil de aplicar.

#### 3.2.1 Características físicas del cemento.

En la elaboración de los RF, se tiene la ventaja de fabricarlos con cualquier tipo de cemento, es recomendable utilizar los que cumplan con la norma ASTM C-595.

Para el diseño y fabricación de todos los RF, se utiliza el Cemento Portland Tipo GU, cuyas características se especifican en la tabla 23.

Tabla 23. Característica Física del cemento Tipo GU

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	INEN 2380-GU	2011	2014	2015	Orbe & Zúñiga 2013
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.038	-0.034	-0.06	
Tiempo de fraguado, método de Victar B					
Inicial, no menos de, minutos	45	222	220	190	301
Inicial, no más de, minutos	420	323	318	190	456
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	-	3.0	3.2	3.0	
Resistencia a la compresión, Mpa, mínimo					
3 días	13	17	18	17	
7 días	20	22	23	22	
28 días	28	31	30	31	
Expansión en barra de mortero	0.020	0.006	0.02	0.002	
14 días, % máximo					
Densidad					
Real	gr/cm <sup>3</sup>				2.94
Suelta	gr/cm <sup>3</sup>				1.04
Compactada	gr/cm <sup>3</sup>				1.27
Consistencia Normal	%				29

Fuente: (Llanos, 2017)

Elaborado por: El autor

### 3.2.2 Agua para Rellenos Fluidos.

En base a la experiencia que tienen los grandes productores de hormigón, como el caso Holcim; sostienen que el agua que es apta para el consumo humano, es la más idónea para utilizarla en la fabricación de mezclas cementantes.

### 3.2.3 Caracterización de los Agregados Finos Reciclados.

Antes de proceder a elaborar los RF con AFR, es necesario analizar sus características más importantes.

#### 3.2.3.1 Caracterización físico-mecánica.

Dentro de los materiales que intervienen en la elaboración de los RF, al AFR se le realiza un análisis particular, debido sus desventajas en comparación con los AFN.

##### 3.2.3.1.1 Granulometría del agregado fino reciclado.

Para el análisis granulométrico del AFR la norma a utilizar es la ASTM C 33.

Con la finalidad de obtener mejores resultados granulométricos del material a ensayar, se lava la muestra, antes de iniciar con el ensayo. Las fig. 28 y 29, muestran los resultados:

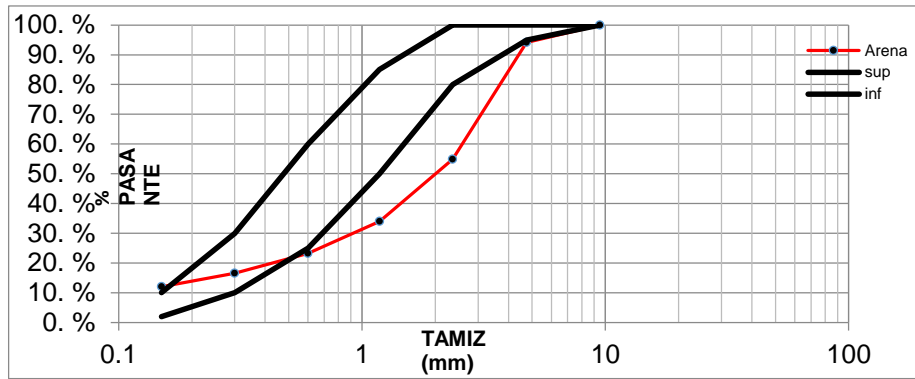


Figura 28. Análisis granulométrico de la prueba Z

Fuente: Norma ASTM C 33

Elaborado por: El autor

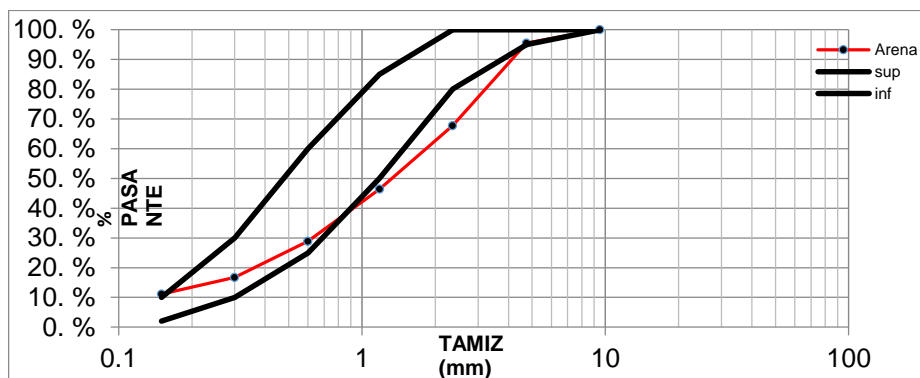


Figura 29. Análisis granulométrico de la prueba X

Fuente: Norma ASTM C 33

Elaborado por: El autor

Las características granulométricas del AFN de la *prueba Z* y del AFR de la *prueba X*, **NO CUMPLEN** con la norma *ASTM C 33*. Sin embargo, en ambos casos, se procederá a utilizarlos en la elaboración de los RF. Se recuerda que las pruebas *Z* y *X*, no forman parte de los RCD del terremoto, pero se ha considerado necesario realizar el análisis correspondiente de estos materiales.

En la fig. 30 se muestra la toma de muestra y la colocación del material en la tamizadora, para las pruebas 1 y 2.



Figura 30. Toma de muestra del material y tamizado

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

Se muestran los resultados del análisis granulométrico de las pruebas 1 y 2, de los AFR:

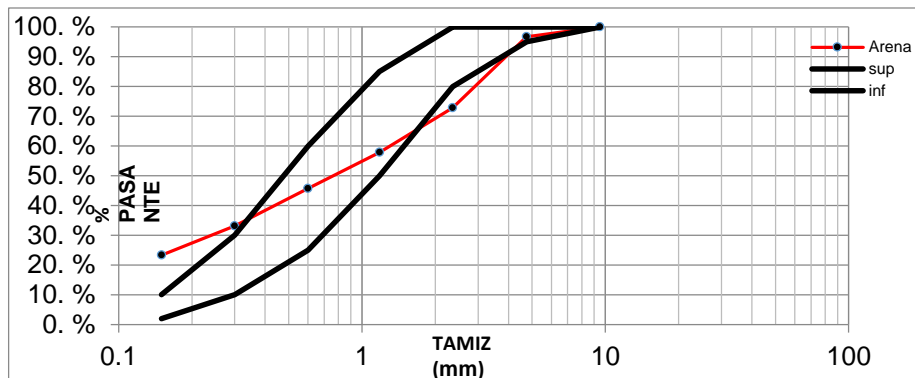


Figura 31. Análisis granulométrico de la prueba 1

Fuente: Norma ASTM C 33

Elaborado por: El autor

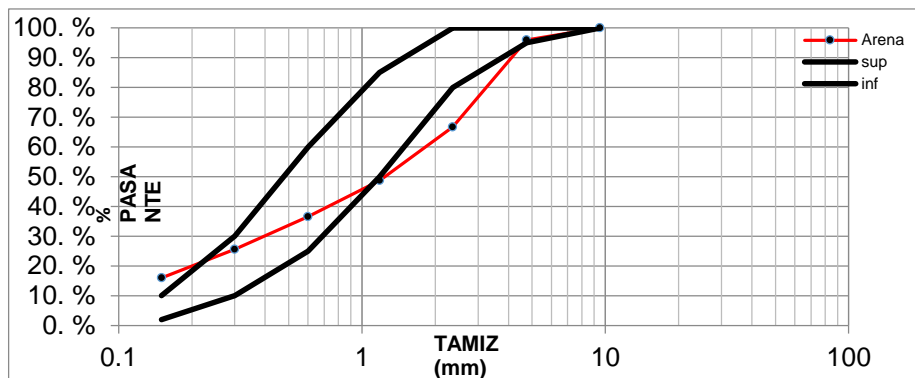


Figura 32. Análisis granulométrico de la prueba 2

Fuente: Norma ASTM C 33

Elaborado por: El autor

Los resultados del análisis granulométrico de las pruebas 1 y 2, NO CUMPLEN con la Norma ASTM C 33, como se muestra en las fig. 31 y 32 respectivamente.

### 3.2.3.1.2 Peso específico y absorción del agregado fino reciclado.

Este ensayo, como se muestra en la fig. 33, determina la absorción de los AFR y del AFN, los cuales sirven como punto de partida en la elaboración de los RF.



Figura 33. Ensayo de Peso Específico

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

Se presentan los resultados de este ensayo:

Tabla 24. Valores de absorciones de las cuatro pruebas

PRUEBA	PROPIEDAD	VALOR (%)	DETALLE
Z	Absorción	1.03	Agregado fino natural
X	Absorción	8.96	Agregado fino reciclado
1	Absorción	8.58	Agregado fino reciclado de hormigón
2	Absorción	11.43	Agregado fino reciclado de mampostería

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

En la tabla 24, las absorciones de las pruebas Z, X, 1 y 2; hay una diferencia considerable entre un valor y otro, principalmente con relación a la prueba Z que son AFN y la las otras de AFR.

De las cuatro pruebas realizadas, la que *mayor absorción* presenta es la *prueba 2*, que pertenece a la de los *AFR de mampostería*, producto de la *clasificación 2*. Esta elevada absorción se debe a que estos residuos poseen bastante cantidad de arcilla, proveniente de los ladrillos que los conforman.

Según la tabla 24, los cuatro AF *NO CUMPLEN* con el VALOR MÁXIMO PERMITIDO DE ABSORCIÓN para los RF que es del 2.5 %.

### 3.2.3.1.3 Resistencia a la abrasión en la máquina de Los Ángeles.

Se utiliza la norma ASTM C 131, Gradación "B", y se procede al ensayo de acuerdo a la fig. 34:



Figura 34. Ensayo de Desgaste en la Máquina de Los Ángeles

Fuente: Norma ASTM C 131, Gradación "B"

Elaborado por: El autor

A continuación, se presentan los resultados de este ensayo:

Tabla 25. Resumen de valores de Resistencia a la Abrasión

PRUEBA	PROPIEDAD	VALOR (%)	DETALLE
Z	Resistencia a la abrasión	20.30	Material pétreo natural de la cantera Panupali, de la provincia de El Oro.
X	Resistencia a la abrasión	32.00	Material producido con escombros de una acera de la ciudad de Machala.
1	Resistencia a la abrasión	36.10	Material producido con escombros de RCD del terremoto del 2016 de la clasificación 1, residuos de hormigón.
2	Resistencia a la abrasión	44.10	Material producido con escombros de RCD del terremoto del 2016 de la clasificación 2, residuos de mampostería.

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

En la tabla 25, el material que presenta *mayores valores de desgaste* es la *prueba 2*, debido al alto contenido de arcilla que poseen, lo que los hace más débiles respecto a los otros tipos de materiales. Y el menor valor de desgaste corresponde a la prueba Z, perteneciente a los AN.

Con la realización de este ensayo, se ha comprobado que los AR, no poseen una buena resistencia al desgaste, por lo que la función que se desea dar a los AFR en la elaboración de los RF sería la más adecuada, ya que esta mezcla cementante trabajará como una base convencional dentro de la estructura del pavimento y no como capa de rodadura, la cual esta última no es conveniente que estos AR formen parte de la superficie de la calzada, debido a su pobre resistencia al desgaste.

Como se aprecia en la fig. 35, el material ya ensayado presenta una alta cantidad de polvo, mismo que posee altas cantidades de cemento, debido a que los RCD contienen mortero adherido en su composición.



Figura 35. Material ensayado con bastante polvo

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

Al momento de la trituración de los escombros, la planta arrojó granulometrías de 3/4" y de 3/8", como se aprecia en la fig. 36, este tipo de material no ha sido tomado en cuenta para la elaboración de los RF, pero los utilizamos en la realización del ensayo de abrasión.



Figura 36. Material de la clasificación 2 para ensayo  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### 3.3 Aditivos químicos a utilizar

Con estos materiales se desea limitar la resistencia en los RF, además combatir la elevada absorción de agua que presentan los AFR y mantener un asentamiento alto en un tiempo considerable.

Se trabaja con tres tipos de aditivos, los cuales cumplen funciones diferentes, pero el papel que desempeña el superplastificante y el incorporador de aire son los más trascendentes, ya que mejoran la capacidad elevada de absorción de agua de los AFR, cuando estos entren a ser parte de estas mezclas, y limitan la resistencia a compresión de los RF respectivamente.

La cantidad de estos aditivos incorporados a la mezcla, son calculados con respecto al peso del cemento del diseño.

En la fig. 37, se presentan los tres tipos de aditivos a utilizar.



Figura 37. Aditivos químicos a utilizar  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor



### **3.3.1 Superplastificante.**

Se utiliza un superplastificante como reductor de agua de alto rango, el cual combate la elevada absorción de los AFR, está compuesto a base de naftaleno y de resinas sintéticas, economiza el cemento y ahorra hasta un 30 % del agua de la mezcla, no contiene cloruros, cumple con la norma ASTM C-494 como aditivo tipo A y F; su densidad es de 1.2 Kg/l aproximadamente.

### **3.3.2 Retardante.**

retardador de fraguado y colabora como reductor de agua en porcentajes menores, no contiene cloruros y cumple con la norma ASTM-C494 Tipo D. Está fabricado a base de polímeros y su densidad es de 1.1 Kg/l aproximadamente.

### **3.3.3 Incorporador de aire.**

Está hecho a base de resinas de colofonia, su PH > 8 y su densidad es de 1 Kg/l aproximadamente, no contiene cloruros. Cumple con la norma ASTM C-260; no es inflamable, disminuye la permeabilidad en la mezcla, aumenta la durabilidad y aporta a la resistencia en ambientes agresivos como el agua de mar, aguas o suelos sulfatados. Este tipo de aditivo es uno de los más usados dentro de los RF, evitando alcanzar resistencias a compresión elevadas.

## **3.4 Dosificación de los Rellenos Fluidos con agregados finos reciclados**

Dentro de las investigaciones estudiadas para la dosificación o diseño del RF, como el ACI 229, (Ramme & Scholer, n.d.), (Granados et al., 2003), (Cabezas, 2010), (E. Rivera, 2008) y (Salgado & Peralta, 2015); coinciden en que su dosificación ha sido desarrollada en base a prueba y error, hasta que la mezcla satisfaga la necesidad requerida.

### **3.4.1 Tipos de Rellenos Fluidos a diseñar.**

Se elaboran RF con tres tipos de AFR y uno con AFN, en tres diferentes dosificaciones, con la finalidad de encontrar las más adecuadas dentro de la clasificación 1 y 2 de los AFR del sismo de Pedernales.

La idea de adicionar dos tipos de materiales al presente estudio, como la *Prueba Z* (AFN de la cantera Panupali) y la *Prueba X* (AFR provenientes de escombros de hormigón de la ciudad de Machala), surge debido a que se ha considerado necesario la comparación de resultados con otros AFR que no pertenecen a los RCD del sismo. En la tabla 26, se especifica lo siguiente:



Tabla 26. Tipos de Rellenos Fluidos a diseñar

DENOMINACIÓN	DETALLE
Z	Relleno Fluido a elaborar con agregados finos naturales
X	Relleno Fluido a elaborar con agregados finos reciclados de hormigón para comparación de resultados
1	<i>Relleno Fluido a elaborar con agregados finos reciclados de la Prueba 1</i>
2	<i>Relleno Fluido a elaborar con agregados finos reciclados de la Prueba 2</i>

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

### 3.4.2 Criterios de dosificación para la elaboración de los Rellenos Fluidos.

Antes de iniciar con el diseño de los RF, es importante tener en cuenta criterios con los cuales se garantiza la elaboración de un buen producto:

- La resistencia a compresión de los RF no debe estar por debajo de los  $7 \text{ kg/cm}^2$ , que equivale a la de una base granular bien compactada. El valor máximo que puede llegar es hasta  $85 \text{ kg/cm}^2$ , si se supera este valor dejaría de ser un RF y se convertiría en un hormigón elaborado con AFR.
- Es importante tener en cuenta la cantidad de aire que se le incorpore a la mezcla, la cual se encuentra en el rango de 15 – 25%. Cabe señalar que una deficiencia o exceso en de estos porcentajes, podrían arrojar resistencias muy bajas o elevadas respectivamente.
- La  $r/a/c$  que se utilizan en las dosificaciones de los RF están en el rango de 1.5 – 2.5 aproximadamente.
- Se utiliza únicamente el AFR, ya que el RF es un mortero desde el punto de vista granulométrico.
- Para el diseño y el posterior amasado, se trabaja por peso de los materiales, desde el cemento hasta los aditivos químicos.

### 3.4.3 Método de dosificación planteado.

Se explica detalladamente cada uno de los pasos a seguir, tomando como ejemplo un diseño, para el resto de pruebas y dosificaciones se aplicará el mismo procedimiento:

Explicamos la *Prueba 1.1*, la cual pertenece a la Clasificación y Dosificación 1, que corresponde a los AFR de hormigón.

1. Partimos con el peso del cemento, para lo cual asumimos 3 sacos de 50 Kg.

$$\text{Cemento} = 3 \times 50 \text{ Kg} = 150 \text{ Kg}$$

2. Nos planteamos una r a/c = 2 para el cálculo del agua:

$$\text{Agua} = 2 \times 150 \text{ Kg} = 300 \text{ Kg}$$

3. Procedemos al cálculo del AFR, en base a los datos de la densidad y peso ya conocidos, para luego transformarlos a unidad de volumen en litros:

Tabla 27. Proceso 1 para el cálculo del agregado fino reciclado

<b>MATERIAL</b>	<b>DENSIDAD Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>PESO Kg</b>	<b>VOLUMEN L</b>
Cemento	2940	150.00	51.02
Agua	1000	300.00	300.00
		<i>Suma:</i>	<i>351.02</i>

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

4. Sumamos los pesos del cemento y agua, el resultado de la suma parcial restamos la cantidad de 1000 L, que equivalen a 1 m<sup>3</sup> de mezcla, y obtenemos la cantidad del AFR:

$$1000 \text{ L} - 351.02 \text{ L} = 648.98 \text{ L}$$

5. Necesitamos que la cantidad del fino reciclado se encuentre en una unidad de peso al igual que el cemento y el agua, para lo cual multiplicamos el valor del volumen del pétreo por su densidad, previamente obtenida en el ensayo correspondiente:

Tabla 28. Proceso 2 para el cálculo del agregado fino reciclado

<b>MATERIAL</b>	<b>DENSIDAD g/cm<sup>3</sup></b>	<b>VOLUMEN L</b>	<b>PESO Kg</b>
Cemento	2.94	51.02	150.00
Agua	1.00	300,00	300,00
Agregado Fino Reciclado	2.354	648.98	1527.70

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

6. Antes de calcular los pesos de los aditivos que intervendrán en las mezclas, es necesario definir el número de probetas o cilindros, las cuales servirán para el ensayo de compresión simple.

Según la norma ASTM D 4832, el valor de la resistencia a la compresión de las probetas, es a la edad de 28 días. Para controlar la resistencia es necesario analizar las diferentes edades, las cuales se proponen hacerlas a los 7 – 14 – 28 días.

Este cálculo se realiza para un volumen 16 litros de mezcla. Se debe tomar en cuenta 8 probetas para el ensayo de compresión simple, y para realizar la prueba de fraguado de acuerdo a la norma ASTM C 403:

Tabla 29. Cálculo en peso de materiales para la mezcla

MATERIAL	DENSIDAD Kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN L	PESO Kg	PESO DE LABORATORIO Kg
Cemento	2940	51.02	150.00	2.40
Agua	1000	300.00	300.00	4.80
Agregado Fino Reciclado	2354	648.98	1527.70	24.44

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

7. Para el *superplastificante* se trabajará con el 1.3%, el *retardante* con el 0.5% y el *incorporador de aire* con el 1%, todos con respecto al peso del cemento del ensayo.

En la tabla 30, se muestra el diseño completo de la Prueba 1.1:

Tabla 30. Diseño de Relleno Fluido de la Prueba 1.1

PRUEBA	MATERIAL	PESO Kg
	Cemento	150.00
	Agua	300.00
	Agregado Fino Reciclado	1 527.70
P1.1	Superplastificante (1.3 % del peso del cemento)	1.95
	Retardante (0.5 % del peso del cemento)	0.75
	Incorporador de Aire (1 % del peso del cemento)	1.50

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

8. En base a la tabla 30, calculamos el peso del laboratorio para todos los materiales. Se ha planteado el volumen de mezcla de 16 litros, y en función de ese valor, obtenemos el peso del laboratorio de los materiales con respecto a 1 m<sup>3</sup> o 1000 litros de mezcla, lo cual se muestra en la tabla 31:

Tabla 31. Peso del laboratorio (16 L) para ensayo de Relleno Fluido de la Prueba 1.1

PRUEBA	MATERIAL	PESO DE LABORATORIO g
	Cemento	2400.00
	Agua	4800.00
	Agregado Fino Reciclado	24443.20
P1.1	Superplastificante (1.3 % del peso del cemento)	31.20
	Retardante (0.5 % del peso del cemento)	12.00
	Incorporador de Aire (1 % del peso del cemento)	24.00

Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

#### 3.4.4 Dosificaciones planteadas.

Se realizan *tres tipos de dosificaciones* con los *cuatro tipos de materiales* o pruebas. A continuación, el significado de la simbología para un mejor entendimiento:

Z.- Prueba de RF con AFN de la cantera Panupali, provincia de El Oro.

X.- Prueba de RF con AFR de hormigón, producto de los RCD de una acera de la ciudad de Machala.

1.- Prueba de RF con AFR de hormigón, producto de la clasificación 1 de los RCD, del simso de Pedernales.

2.- Prueba de RF con AFR de mampostería, producto de la clasificación 2 de los RCD, del simso de Pedernales.

**Dosificación 1.-** Con la misma cantidad de cemento y r a/c, se realiza la primera dosificación de las cuatro pruebas del presente estudio: Z<sub>1</sub> – X<sub>1</sub> – 1.1 – 2.1, con esto comparamos sus resultados, tanto en el estado fresco como en el endurecido, resultados que se muestran en la tabla 32:

Tabla 32. Resultados del diseño de la Dosificación 1 para 1 m<sup>3</sup> de mezcla

PRUEBA	R A/C	CEMENTO Kg	AGUA Kg	AF Kg	SUPERPLASTI FICANTE Kg	RETARDA NTE Kg	INCORPO RADOR DE AIRE Kg
P.Z.1	2.00	150.00	300.00	1871.66	1.95	0.75	1.50
P.X.1	2.00	150.00	300.00	1432.95	1.95	0.75	1.50
P.1.1	2.00	150.00	300.00	1527.70	1.95	0.75	1.50
P.2.1	2.00	150.00	300.00	1353.77	1.95	0.75	1.50

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

En las dosificaciones 2 y 3, se variará tanto la cantidad del cemento, como la r a/c.

**Dosificación 2.-** Se varía el contenido de cemento y la r a/c, con la finalidad de tener una amplia gama de resultados y poder analizar cuál de todas las dosificaciones es la más adecuada para la sustitución de una base granular, por le RF.

Para la prueba Z<sub>2</sub>, se utiliza otro tipo de incorporador de aire, pero con el mismo porcentaje respecto al peso del cemento, en relación al otro aditivo. Con el propósito de probar otro tipo de aditivo, se recuerda que la prueba Z, está en base al análisis de los AFN, los cuales también son utilizados para la prueba de los aditivos.

Tabla 33. Resultados del diseño de la Dosificación 2 para 1 m<sup>3</sup> de mezcla

PRUEBA	R A/C	CEMENTO Kg	AGUA Kg	AF Kg	SUPERPLA STIFICANT E Kg	RETAR DANTE Kg	INCORPO RADOR DE AIRE Kg
P.Z.2	2.00	150.00	300.00	1871.66	1.95	0.75	1.50
P.X.2	2.50	111.11	444.44	1408.44	1.44	0.56	1.11
P.1.2	2.00	225.00	450.00	1114.55	2.93	1.13	2.25
P.2.2	2.00	300.00	600.00	621.54	3.90	1.50	3.00

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

**Dosificación 3.-** Se toma en cuenta la suma total de todos los materiales que conforman el RF de la dosificación 1 o 2, con lo que se obtiene el peso total de la mezcla.

Este procedimiento se realiza, con el objetivo de incorporar a la mezcla de 1 m<sup>3</sup> el contenido de aire de una dosificación anterior, para replicar el mismo diseño, el cual debe de arrojar resultados similares.

Se procede a plantear la dosificación 3, sumando todos los materiales incluyendo ahora el porcentaje de aire obtenido a través de la olla de Washington de una dosificación anterior. este valor lo restaremos al total de una dosificación anterior.

El peso total del AFR de la nueva dosificación, siempre será menor al resultado de la dosificación anterior. Puesto que la nueva dosificación, se ha incluido el contenido de aire, y se está trabajando a base a un peso determinado de 1 m<sup>3</sup>, por consiguiente, la cantidad de AFR disminuye.

Restamos los dos pesos totales de la mezcla de cada dosificación, y la diferencia la sumaremos a la nueva dosificación en la cantidad del AFR, con esto replicamos el diseño que se ha tomado como base.

Trabajamos con los resultados de la Prueba P.X<sub>2</sub>, de la dosificación 2.

Se explica el procedimiento para la Prueba X.<sub>3</sub>, de esta dosificación 3:

Tabla 34. Incorporación del porcentaje de aire a la suma de materiales

MATERIAL	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	PESO Kg	VOLUMEN L
Cemento	2.94	150.00	51.02
Agua	1.00	255.00	255.00
Contenido de Aire			185.00
		Suma:	491.02

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

- La suma de la tabla 34, lo restamos de losm 1000 L, que equivale a 1 m<sup>3</sup> de mezcla, obteniendo así la cantidad del volumen parcial del AFR:

$$1000 \text{ L} - 491.02 \text{ L} = 508.98 \text{ L}$$

- A este valor de volumen parcial del AFR, lo multiplicamos por su densidad, obteniendo el peso parcial del fino reciclado, transformando antes las cantidades correspondientes en Kg.

$$508.98 \text{ L} = 508980 \text{ cm}^3$$

$$508980 \text{ cm}^3 \times 2208 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3} = 1123.83 \text{ Kg}$$

- Teniendo el peso parcial del fino reciclado en kilogramos, procedemos a sumar las cantidades:

Tabla 35. Proceso para el cálculo de la prueba X.<sub>3</sub>

MATERIAL	PESO Kg	OBSERVACIÓN
Cemento	150,00	El peso o porcentaje del aire ya está incorporado a la mezcla, esto se lo realizó en el paso anterior.
Agua	255,00	
Aire	-	
Agregado Fino Reciclado	1123,83	
SUMA:	1528,83	

Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

- Al peso total de la mezcla de la prueba X<sub>2</sub>, le restamos el peso de la suma de la tabla 35, y se obtiene el peso faltante para equilibrar las dos pruebas:

$$1885.75 \quad \text{Kg} - 1528.83 \text{ Kg} = 356.92 \text{ Kg}$$

- El valor que se acaba de obtener, le sumamos al peso parcial del AFR de la tabla 35, y obtenemos el peso total del AFR de esta nueva dosificación:

$$356.92 \text{ Kg} + 1123.83 \text{ Kg} = 1480.75 \text{ Kg}$$

- Con el valor total del AFR, completamos el diseño de la prueba X<sub>3</sub>:

Tabla 36. Diseño de Relleno Fluido de la Prueba X.<sub>3</sub>

PRUEBA	MATERIAL	PESO Kg
PX. <sub>3</sub>	Cemento	150.00
	Agua	255.00
	Agregado Fino Reciclado	1 480.75
	Superplastificante (1.3 % del peso del cemento)	1.95
	Retardante (0.5 % del peso del cemento)	0.75
	Incorporador de Aire (1 % del peso del cemento)	1.50

Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

Este procedimiento se realiza para el resto de pruebas de la *dosificación 3*, se indica que para la prueba P.Z.<sub>3</sub> se trabaja con los resultados de P.Z.<sub>1</sub>; para la prueba P.<sub>1.3</sub> con los resultados de la P.<sub>1.2</sub> y para la prueba P.<sub>2.3</sub> los resultados de la P.<sub>2.2</sub>. Quedando la dosificación 3, como se expresa en la tabla 37:

Tabla 37. Resultados del diseño de la Dosificación 3 para 1 m<sup>3</sup> de mezcla

PRUEBA	R A/C (efectiva)	CEMENTO Kg	AGUA Kg	AF Kg	SUPERPLASTIFICANTE Kg	RETARDANTE Kg	INCORPORADOR DE AIRE Kg
P.Z.3	1.60	150.00	240.00	1892.00	1.95	0.75	1.50
P.X.3	1.70	150.00	255.00	1480.75	1.95	0.75	1.50
P.1.3	1.14	225.00	256.75	1307.80	2.93	1.13	2.25
P.2.3	1.32	300.00	396.33	825.31	3.90	1.50	3.00

Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### 3.4.5 Preparación de los materiales.

Este proceso se lo ejecuta con el cuidado que demanda el ensayo, para no alterar su estado.



Figura 38. Peso de los materiales para el RF

Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

Con respecto al cemento, durante todo el proceso de la elaboración de todos los RF, se lo almacena con protección plástica.

Los aditivos químicos se encuentran a temperaturas adecuadas, para así evitar reacciones químicas diferentes a las solicitadas.

### 3.4.6 Proceso de amasado.

Se realiza el siguiente procedimiento:

- Se define cuantos litros de mezcla se desea elaborar para el peso de los materiales.
- Se pesa el cemento, AFR y el agua, en recipientes completamente limpios.
- En una balanza electrónica de precisión, se pesan los aditivos químicos, todos en función al peso del cemento y en proporciones ya indicadas.
- Se trabaja en el laboratorio a una temperatura de 25 °C.



- La concretera tiene una capacidad de 150 litros, la cual se lava y humedece, para que no se adhiera el AFR.
- Se coloca en primer lugar el AFR, y se mezcla por un periodo de 2 minutos aproximadamente.
- Se añade  $\frac{1}{4}$  de agua de la total calculada, y se procede a mezclar por un lapso de 2 minutos, con lo cual evitamos pérdidas del cemento.
- Se añade el cemento y se mezcla por un periodo de 3 minutos.
- Colocamos otro  $\frac{1}{4}$  de agua y mezclamos alrededor de 2 minutos.
- Se procede a colocar los aditivos químicos con la adición de  $\frac{1}{4}$  de agua, primero el superplastificante, luego el retardante y por último el incorporador de aire, y se mezcla 3 minutos.
- Por último, colocamos el último  $\frac{1}{4}$  de agua y mezclamos por un tiempo de 3 - 4 minutos, como se muestra en la fig. 39.



Figura 39. Proceso de amasado  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### 3.4.7 Elaboración de testigos.

Utilizamos la norma ASTM D 4832, se utilizan cilindros de relación 1 – 2, de diámetro de 10 cm y altura de 20 cm.

Una vez que la mezcla tenga la consistencia adecuada, se procede a colocar la misma en los cilindros en dos capas, a las que se varilla 25 veces cada una. La varilla debe ser lisa y con punta redondeada. Con un martillo de goma se procede a golpear suavemente el cilindro para eliminar los espacios vacíos, y se espera alrededor de 20 minutos para enrasarlos. Se utilizan cubos, de dimensiones de 5 cm x 5 cm x 5 cm, se realizan dos capas, y en cada una de ellas se aplica 48 golpes suaves con un caucho liviano, se golpean suavemente los moldes para que la mezcla ocupe todo su espacio. Se elaboran 8 cilindros por cada prueba, para realizar las roturas respectivas a los 7, 14 y 28 días, y se ha tomado 2 muestras adicionales para analizar sus resistencias a futuro, como se muestra en la fig. 40.



Figura 40. Elaboración de cilindros y cubos para comprobar su resistencia  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

Se ha implementado el uso de cubos, los que normalmente se utilizan para la evaluación de resistencias de un mortero o cemento; con la idea de hacer una comparación de resultados entre estos moldes y los cilindros. En todas las pruebas no se realizan muestras con cubos, debido a que, dentro del estudio, los cilindros son las muestras más importantes para la evaluación de la resistencia a la compresión del RF.

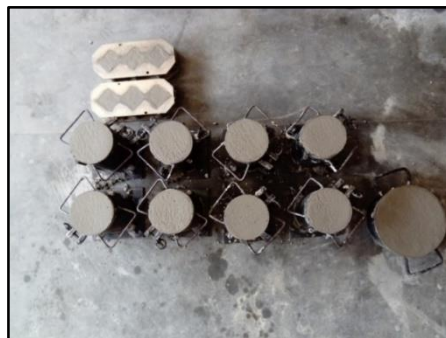


Figura 41. Cilindros, cubos y muestra para ensayo de fraguado  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### 3.4.8 Curado de testigos.

Transcurridas 24 horas, se procede a desencofrar los cilindros y cubos, teniendo cuidado en su extracción y manipulación, debido a que estas mezclas presentan resistencias bajas, y más aún en temprana edad. Luego se las coloca en la piscina de curado, con una temperatura del agua que esté en el rango de 15 – 25 °C de acuerdo a la norma ASTM D 4832. Un buen curado de las muestras, garantiza que los resultados del ensayo a la compresión sean efectivos y valederos para la presente investigación.



Figura 42. Muestras colocadas en la piscina de curado  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### 3.5 Ensayos para determinar las propiedades de los Rellenos Fluidos en estado fresco

Se aplican las normas ASTM, de acuerdo a cada ensayo a realizar.

#### 3.5.1 Ensayo para determinar la consistencia.

Se utiliza la norma ASTM C 143 “Método de Prueba Estándar para el Asentamiento del Concreto con Cemento Hidráulico”, la cual es la misma que se la aplica en los hormigones tradicionales.

Se inicia humedeciendo el cono de Abrams, para que no se adhiera a la mezcla al momento de levantarlo, se va colocando la muestra en tres alturas iguales hasta llegar a su tope, cada capa se varilla uniformemente en todo el contorno 25 veces, la varilla debe ser lisa, de 16 mm de diámetro y con ambas puntas redondeadas.

Luego se procede a enrasar la mezcla en la parte superior del cono y se lo levanta con cuidado, el tiempo para levantar el cono es de 2 a 5 segundos, y se mide el asentamiento, tal y como indica la fig. 43.



Figura 43. Medición del asentamiento  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### 3.5.2 Proceso para determinar la densidad en estado fresco.

Para el cálculo de la densidad, se trabaja con la ecuación 3.1:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$



Figura 44. Peso de la mezcla para el cálculo de la densidad

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

### 3.5.3 Ensayo para determinar el contenido de aire.

Se utiliza la norma ASTM C 138 “Método Estándar para Densidad (Peso Unitario), Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto”. Se llena la Olla de Washington en tres capas iguales, cada capa se varilla 25 veces, y se golpea el recipiente con un martillo de goma, y enrasamos completamente la mezcla, luego se coloca la tapa que contiene un manómetro para la lectura del contenido de aire.

Con una piseta, colocamos agua al recipiente por una de las válvulas que encuentran en la tapa, hasta que el agua salga por la otra válvula, verificando previamente que las llaves estén abiertas, nuevamente se golpea el equipo con el martillo de goma, para eliminar los vacíos. Se procede a cerrar la válvula de purgado de aire del equipo, y se empieza a bombear aire a la cámara, hasta que el manómetro nos indique que está en el punto inicial, luego se cierran las válvulas horizontales, para a abrir la válvula principal o superior.

Para evitar errores en la lectura del contenido de aire, se le da ligeros golpes al manómetro hasta estabilizar su lectura, y obtenemos el contenido de aire, tal y como se muestra en la fig. 45.



Figura 45. Procedimiento para la obtención del contenido de aire  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### 3.5.4 Ensayo para determinar el tiempo de fraguado.

Se trabaja con la norma ASTM C 403 “Método Estándar para el Tiempo de Fraguado por resistencia a la Penetración para Mezclas de Concreto”.

Se inicia tamizando la mezcla por la malla No. 4, el pasante se lo coloca en un recipiente que tenga la suficiente área en la parte superior, ya que es ahí donde se colocan las agujas del penetrómetro. Colocada la mezcla en el recipiente de fraguado, se espera una hora aproximadamente, y se verifica con la yema de los dedos si la mezcla ya está en capacidad de soportar la primera aguja que es la de 1”.

Después de tres horas aproximadamente, puesta la primera aguja en el penetrómetro, se hace presión sobre la superficie de la mezcla, hasta que la aguja se introduzca 2.5 cm, se lee el valor en el mango del penetrómetro, y este procedimiento se lo realiza con todas las agujas, a medida que va avanzando el tiempo. Se van colocando las agujas con menor diámetro, que son de 1”, 0.5”, 0.25”, 0.1”, 0.05” y 0.025”; y todas las lecturas deben llegar al valor de 100 en el indicador del mango del penetrómetro.

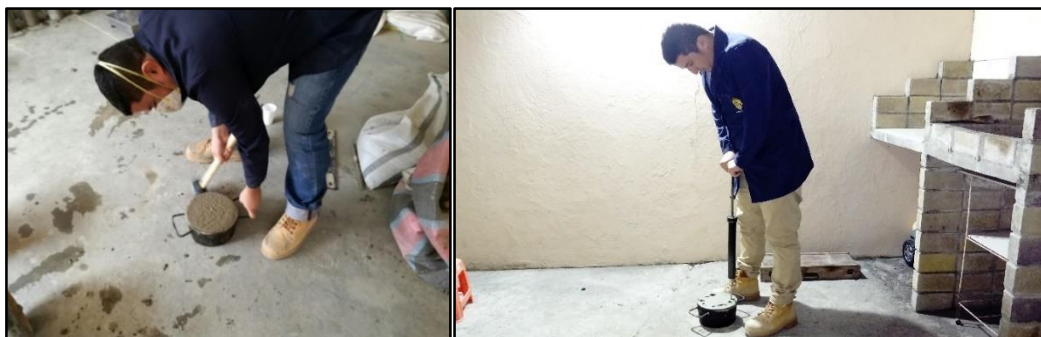


Figura 46. Procedimiento del ensayo de prueba de fraguado  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor



### **3.6 Ensayos para determinar las propiedades de los Rellenos Fluidos en estado endurecido**

Las propiedades principales en este estado son: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN y la CAPACIDAD DE SOPORTE o CBR. Y a continuación se muestran los ensayos correspondientes.

#### **3.6.1 Ensayo de resistencia a compresión simple.**

Para evaluar las resistencias de nuestras pruebas, realizaremos el “Ensayo de Compresión Simple”, aplicando la norma ASTM D 4832.

Se utiliza la máquina universal para la rotura de los cilindros, que consiste en una prensa hidráulica, con la finalidad de comprimir las muestras, la máquina debe estar calibrada para la validación de los resultados. Una vez sacados los cilindros de la piscina de curado, se los deja secar por el lapso de por 8 horas aproximadamente, debido a que los mismos poseen aire en la mezcla y están elaborados con AFR, lo que ocasiona que estos cilindros absorban gran cantidad de agua.

Se ensayan las probetas de acuerdo a su edad, a los 7, 14 y 28 días, este último valor es el más importante, ya que es aquí donde alcanzará su máxima resistencia para la presente investigación. Se han realizado dos probetas más por cada prueba y cubos para evaluar la resistencia con el paso del tiempo.

Se inicia con el ensayo aplicando la carga a una velocidad moderada, y de acuerdo a su edad, debido a que las muestras poseen resistencias bajas, y se obtiene el valor, de acuerdo a la fig. 47.



Figura 47. Rotura de cilindros  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

### **3.6.2 Obtención del valor de capacidad de soporte (CBR).**

Conocido el valor de las resistencias a compresión de las diferentes pruebas elaboradas, se calcula el valor de CBR, mediante la ecuación 1.1:

$$\text{CBR} = 2.377 f'c + 30.25 \quad (\text{Ecuación: 1.1})$$

## **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS**



#### 4.1 Resultados de las Propiedades de los Rellenos Fluidos en estado fresco

Se muestran los resultados del estudio individual, de los dos tipos de AFR de la clasificación 1 y 2 del sismo de Pedernales, y para comparación y discusión de resultados, se mencionan también los AFR de la prueba X y los AFN de la prueba Z.

##### 4.1.1 Consistencia o fluidez.

De acuerdo a la norma ASTM C 143 se realizó este ensayo, con lo que se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 38:

Tabla 38. Resultados del Asentamiento de todas las pruebas

ASENTAMIENTO	DOSIFICACIÓN	VALOR cm
Z <sub>1</sub>		24.00
X <sub>1</sub>	1.00	22.00
P1.1		21.00
P2.1		17.00
Z <sub>2</sub>		23.00
X <sub>2</sub>	2.00	17.00
P1.2		24.00
P2.2		25.50
Z <sub>3</sub>		19.00
X <sub>3</sub>	3.00	14.50
P1.3		19.00
P2.3		20.00

Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

El efecto del superplastificante resultó efectivo, este aditivo como reductor de agua de alto rango, pudo combatir la elevada absorción de los AFR, esto se ha comprobado debido al alto asentamiento que han presentado todas las dosificaciones con sus respectivas pruebas.

Como se puede apreciar en la tabla 38, los valores de asentamiento de los RF, desarrollados AFR, son similares a los resultados de los RF elaborados con AFN.

##### 4.1.2 Densidad en estado fresco.

Los valores de densidad de los RF elaborados con AFR, siempre serán menores a los RF hechos con AFN, tal y como se muestra en la tabla 39:

Tabla 39. Resultados de la densidad en estado fresco de todas las pruebas

DENSIDAD EN ESTADO FRESCO	DOSIFICACIÓN	VALOR Kg/m <sup>3</sup>
Z <sub>1</sub>		1 764.00
X <sub>1</sub>	1.00	1 457.14
P1.1		1 625.00
P2.1		1 210.95
Z <sub>2</sub>		1 879.00
X <sub>2</sub>	2.00	1 425.69
P1.2		1 614.29
P2.2		1 438.57
Z <sub>3</sub>		1 737.14
X <sub>3</sub>	3.00	1 432.58
P1.3		1 817.55
P2.3		1 491.80

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

Los mayores valores de densidad, los poseen las pruebas Z, ya que están elaboradas con AFN. Como se aprecia en la tabla 39.

#### 4.1.3 Contenido de aire.

Estos valores están en función del aditivo incorporador de aire, por lo que se ha utilizado la cantidad de 1 % con respecto al peso del cemento para todas las pruebas, mismo porcentaje fue el resultado del análisis previo de los aditivos a utilizar; se ha trabajado con la norma ASTM C 138. Se presentan los resultados de las pruebas realizadas en la tabla 40:

Tabla 40. Resultados del contenido de aire de todas las pruebas

CONTENIDO DE AIRE	DOSIFICACIÓN	VALOR %
Z <sub>1</sub>		19.00
X <sub>1</sub>	1.00	18.50
P1.1		19.00
P2.1		19.00
Z <sub>2</sub>		18.00
X <sub>2</sub>	2.00	18.00
P1.2		18.00
P2.2		21.00
Z <sub>3</sub>		24.00
X <sub>3</sub>	3.00	21.00
P1.3		22.00
P2.3		19.50

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

Los valores de la tabla 40 son similares entre todos, como parte de las pruebas de los aditivos, en la Prueba Z<sub>2</sub> se utilizó un incorporador de aire diferente, con el mismo porcentaje con respecto a todas las pruebas.

Al igual que los resultados de las otras propiedades del estado fresco de los RF, estos valores poseen rangos iguales, esto se ha logrado con la inclusión de aditivos, en cantidades óptimas, las cuales se reitera; que fueron colocadas en las mismas dosis, para la comparación de los resultados de entre RF elaborados con AFR y AFN.

#### 4.1.4 Tiempo de fraguado.

La resistencia a la compresión es la más indicada para determinar cuando el RF esta en la capacidad de soportar cargas; sin embargo, las pruebas de fraguado sirven para determinar el tiempo de endurecimiento de la mezcla, es decir el lapso del estado fresco al endurecido. Estas sirven de referencia en la obra, para conocer cuánto tiempo puede esperar la mezcla desde la planta al lugar de vaciado, esta característica es aplicable en la producción y entrega de los RF.

Para este ensayo, se ha trabajado únicamente con una prueba para cada material, a continuación, se muestran los resultados:

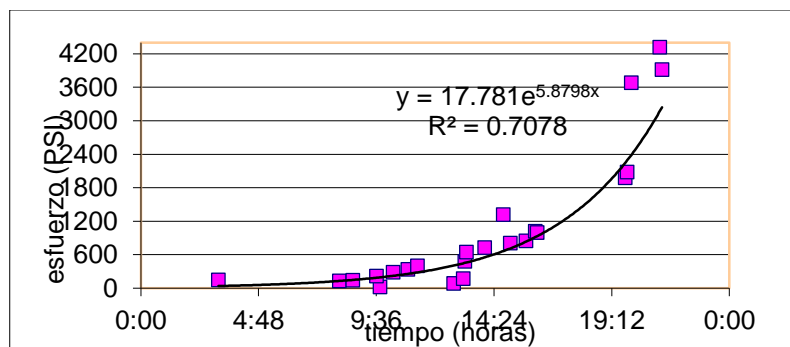


Figura 48. Tiempo de Fraguado del Relleno Fluido prueba Z<sub>3</sub>  
 Fuente: Norma ASTM C 403/403 M-95  
 Elaborado por: El autor

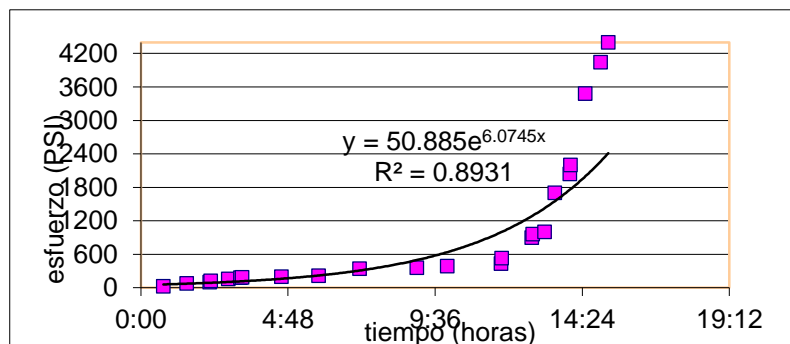


Figura 49. Tiempo de Fraguado del Relleno Fluido prueba X<sub>1</sub>  
 Fuente: Norma ASTM C 403/403 M-95  
 Elaborado por: El autor

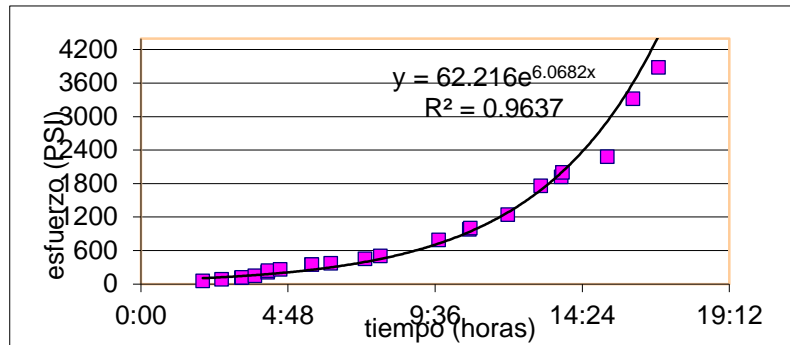


Figura 50. Tiempo de Fraguado del Relleno Fluido prueba P1.2  
 Fuente: Norma ASTM C 403/403 M-95  
 Elaborado por: El autor

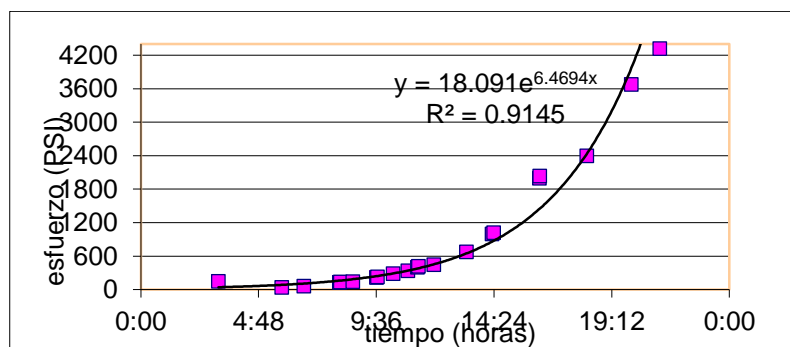


Figura 51. Tiempo de Fraguado del Relleno Fluido prueba P2.2  
 Fuente: Norma ASTM C 403/403 M-95  
 Elaborado por: El autor

En la tabla 41, se muestran el resumen de los resultados:

Tabla 41. Resultados del ensayo del proceso de fraguado

DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN	PRUEBA	UNIDAD	FRAGUADO INICIAL	FRAGUADO FINAL
Prueba de fraguado	3.00	Z <sub>3</sub>	hora	13:37	22:18
Prueba de fraguado	2.00	X <sub>1</sub>	hora	09:01	17:26
Prueba de fraguado	2.00	P1.2	hora	8:14	16:38
Prueba de fraguado	2.00	P2.2	hora	12:18	20:12

Fuente: El autor  
 Elaborado por: El autor

El uso de los aditivos juega un papel importante dentro de este tipo de mezclas, para la elaboración de los RF, se ha incluido el superplastificante, que mejora la capacidad de absorción de los AFR, una vez que estos entren a formar parte de los RF; además del incorporador de aire y el retardante como aditivos químicos, con la finalidad de retrasar el proceso de fraguado.

De acuerdo a las pruebas P1.2 y P2.2, el tiempo de fraguado de esta última, tanto el tiempo inicial como el final, sus valores son superiores a los de la prueba P1.2, debido a que la composición de estos dos tipos de materiales es diferente el uno del otro, la P1.2 pertenece a los residuos de hormigón, mientras que la prueba P2.2 a los de mampostería.

#### 4.2 Propiedades en estado endurecido

La resistencia a la compresión define a los RF si estos pueden o no para formar parte de la estructura de un pavimento, y la capacidad de soporte o CBR, está en función de esta primera propiedad, y en base a una ecuación como se lo indicará más adelante.

##### 4.2.1 Resistencia a la compresión.

Se presentan los resultados de cada dosificación:

#### DOSIFICACIÓN 1

Tabla 42. Resultados del ensayo de compresión simple de la dosificación 1

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO Cm	AREA Cm <sup>2</sup>	PESO Kg	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z.1	17/11/2017	28	15/12/2017	10.00	78.54	3.035	9.791	1.247	12.72
Prueba Z.1	17/11/2017	28	15/12/2017	10.00	78.54	3.045	9.647	1.198	12.22
Prueba X.1	29/11/2017	28	27/12/2017	10.00	78.54	2.774	12.955	1.650	16.83
Prueba X.1	29/11/2017	28	27/12/2017	10.00	78.54	2.924	16.029	2.041	20.82
Prueba 1.1	24/11/2017	28	22/12/2017	10.00	78.54	2.749	11.020	1.403	14.31
Prueba 1.1	24/11/2017	28	22/12/2017	10.00	78.54	2.655	11.566	1.473	15.02
Prueba 2.1	28/11/2017	28	26/12/2017	10.00	78.54	2.175	11.124	1.025	10.460
Prueba 2.1	28/11/2017	28	26/12/2017	10.00	78.54	2.173	11.547	1.046	10.670

Fuente: Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

Para elaborar la gráfica de la fig. 52, se procede a promediar el resultado de los dos cilindros para cada edad y muestra:

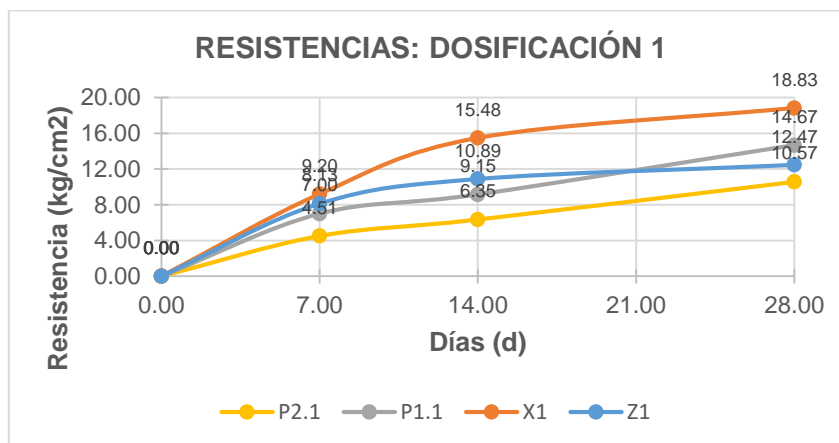


Figura 52. Resultados de la dosificación 1  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

## DOSIFICACIÓN 2

Tabla 43. Resultados del ensayo de compresión simple de la dosificación 2

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO Cm	AREA Cm <sup>2</sup>	PESO Kg	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z.2	17/11/2017	28	15/12/2017	10.00	78.54	3.091	11.675	1.511	15.41
Prueba Z.2	17/11/2017	28	15/12/2017	10.00	78.54	3.085	11.544	1.475	15.05
Prueba X.2	22/11/2017	28	20/12/2017	10.00	78.54	2.760	8.903	1.134	11.57
Prueba X.2	22/11/2017	28	20/12/2017	10.00	78.54	2.758	8.502	1.114	11.36
Prueba 1.2	4/12/2017	28	1/1/2018	10.00	78.54	2.725	22.086	2.812	28.68
Prueba 1.2	4/12/2017	28	1/1/2018	10.00	78.54	2.723	23.110	2.942	30.01
Prueba 2.2	6/12/2017	28	3/1/2018	10.00	78.54	2.585	82.650	10.523	107.330
Prueba 2.2	6/12/2017	28	3/1/2018	10.00	78.54	2.480	75.569	9.622	98.140

Fuente: Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

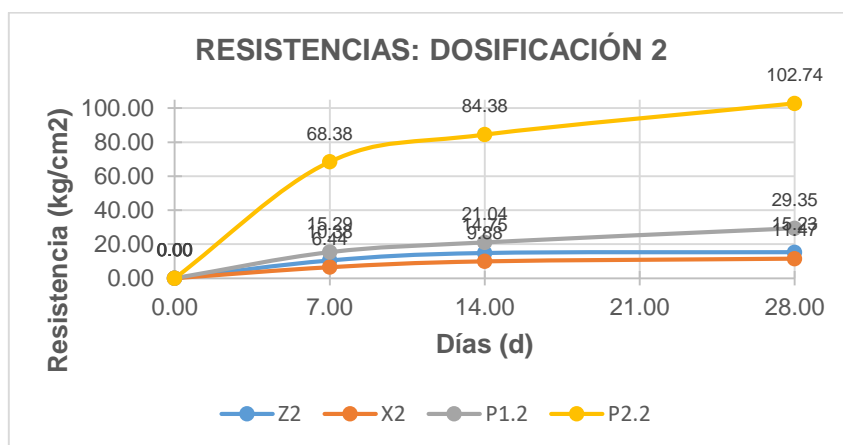


Figura 53. Resultados de la dosificación 2

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

En la Prueba P2.2, se nota un incremento notable en su resistencia, debido a que se quería comprobar los resultados al momento de aumentar la cantidad de cemento para la prueba en mención, lo que indica que este tipo de AFR, no tiene ningún problema en ganar más resistencia.

La prueba P2.2, queda descartada como un RF, y no será tomada en cuenta para la incorporación en el pavimento, debido a que ha superado los 85 kg/cm<sup>2</sup> para ser considerado como un RF, por lo que la P2.2 es prácticamente un hormigón elaborado solo con AFR.

### DOSIFICACIÓN 3

Tabla 44. Resultados del ensayo de compresión simple de la dosificación 3

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO Cm	AREA Cm <sup>2</sup>	PESO Kg	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z. <sub>3</sub>	14/12/2017	28	11/1/2018	10.00	78.54	3.192	6.500	0.830	8.47
Prueba Z. <sub>3</sub>	14/12/2017	28	11/1/2018	10.00	78.54	3.201	6.611	0.841	8.58
Prueba X. <sub>3</sub>	14/12/2017	28	11/1/2018	10.00	78.54	2.280	15.164	1.931	19.70
Prueba X. <sub>3</sub>	14/12/2017	28	11/1/2018	10.00	78.54	2.274	14.875	1.874	19.11
Prueba 1. <sub>3</sub>	13/12/2017	28	10/1/2018	10.00	78.54	2.760	29.554	3.763	38.38
Prueba 1. <sub>3</sub>	13/12/2017	28	10/1/2018	10.00	78.54	2.759	28.547	3.654	37.27
Cubo 2. <sub>3</sub>	15/12/2017	28	12/1/2018	-	-	0.214	35.906	14.362	146.49
Cubo 2. <sub>3</sub>	15/12/2017	28	12/1/2018	-	-	0.213	36.785	14.854	151.51

Fuente: Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

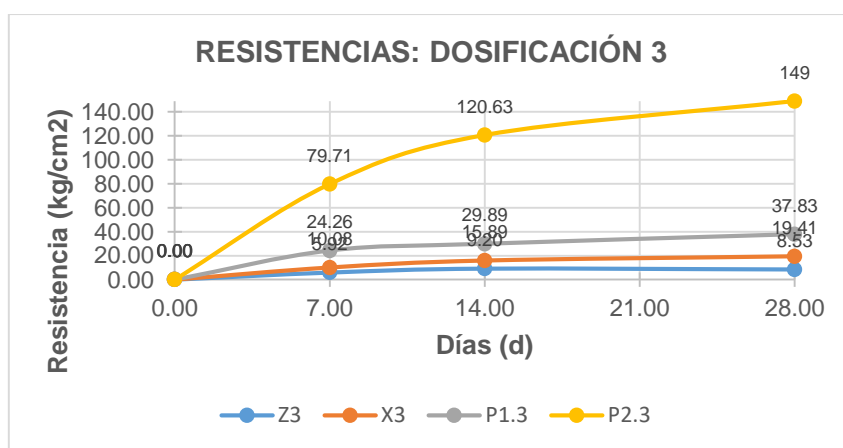


Figura 54. Resultados de la dosificación 3

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

En los resultados de la tabla 44, de la dosificación 3, se ha incluido los resultados a compresión de cubos para la prueba P2.<sub>3</sub>, con la finalidad de observar los valores y compararlos con de los cilindros.

Para los valores de la prueba P2.<sub>3</sub>, se recuerda que se trabajó con la incorporación del aire en la mezcla, los cuales se disparan notablemente por ser la réplica prueba P2.<sub>2</sub>.

El haber tomado muestras de cubos para este tipo de material, los cuales se los utiliza generalmente para la evaluación de resistencias a compresión de morteros con arenas finas o para el cemento. En esta investigación, el AF, tanto el reciclado como el natural, son producto de la trituración de los RCD; por consiguiente, este tipo de muestras no es recomendable para los materiales propios de esta investigación.

Ahora se presentan los resultados de manera independiente de cada prueba o tipo de material, con la finalidad de escoger la más conveniente en la incorporación los RF a la estructura de un pavimento, dentro de las tres dosificaciones propuestas de cada material.

Es necesario recordar que tanto la prueba Z como la prueba X, son materiales ajenos a los RCD del terremoto en Manabí, pero necesarios para realizar comparaciones con las clasificaciones 1 y 2, que pertenecen a los AFR de residuos de hormigón y AFR de mampostería respectivamente. De estos dos últimos materiales, se elegirá la dosificación más conveniente para incluirlo dentro del campo vial.

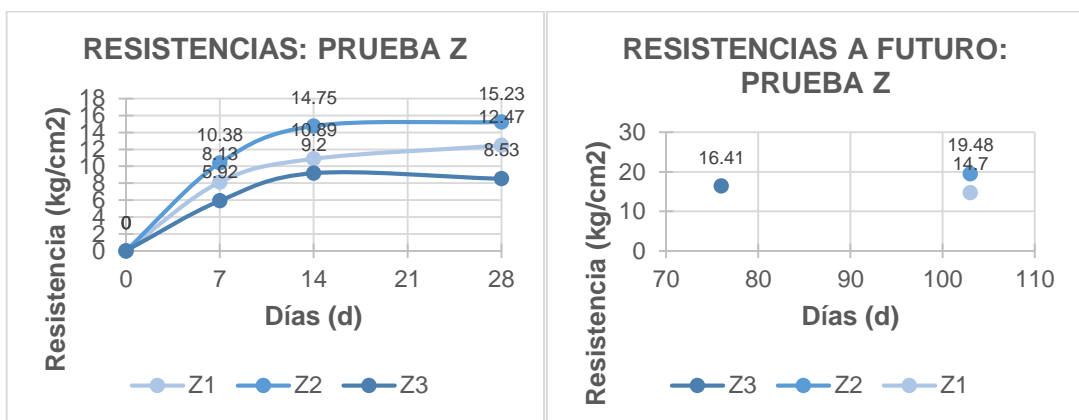


Figura 55. Resistencias de la Prueba Z y a futuro  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

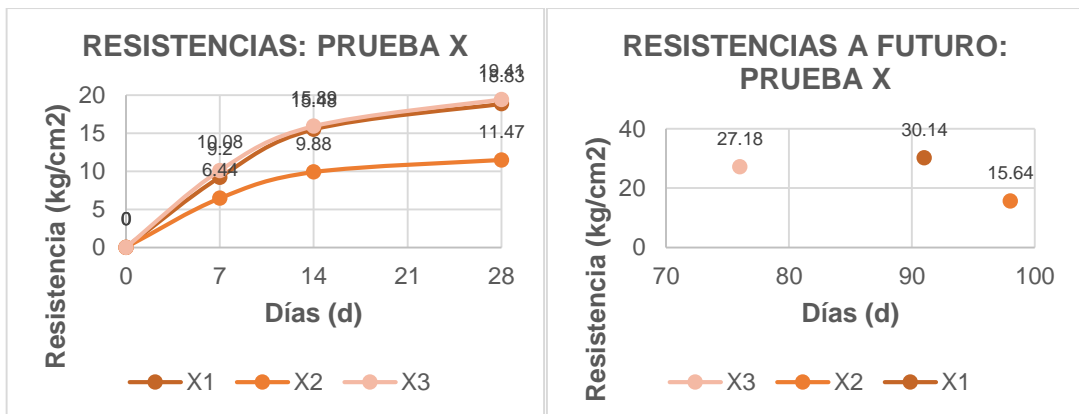


Figura 56. Resistencias de la Prueba X y a futuro  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor



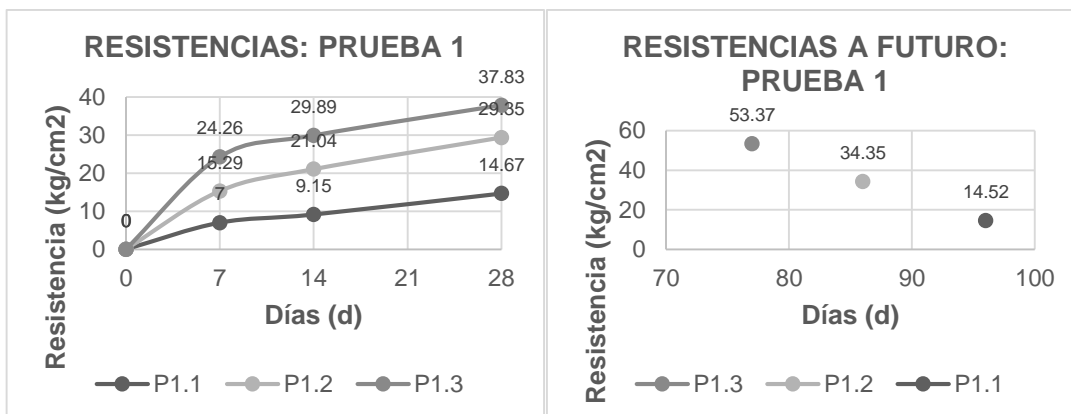


Figura 57. Resistencias de la Prueba 1 y a futuro  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

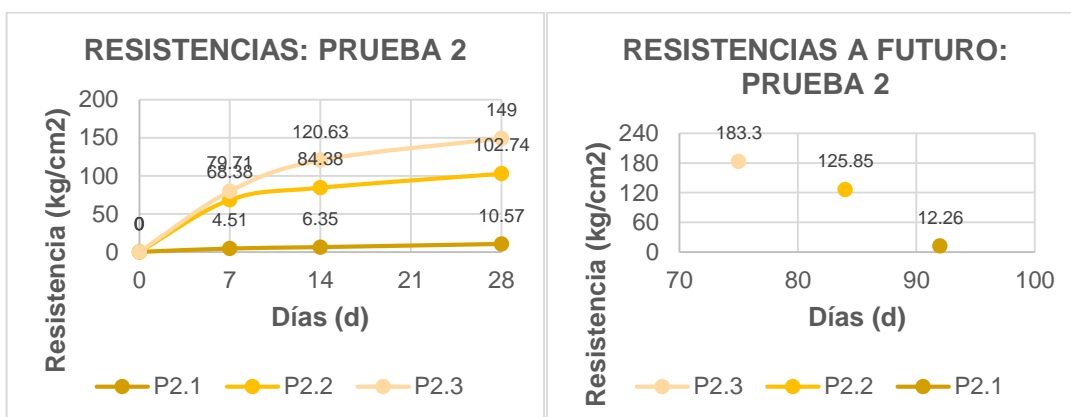


Figura 58. Resistencias de la Prueba 2 y a futuro  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

Con respecto a los resultados de resistencias a compresión a futuro, en todas las dosificaciones con sus respectivas pruebas, se observa un ligero incremento en su resistencia, pero en ningún momento afectará a la estructura o vida útil del pavimento.

#### 4.2.2 Capacidad de soporte (CBR).

Se presentan los valores de CBR de las dosificaciones 1, 2 y 3 en función de la resistencia a la compresión y de acuerdo a la ecuación 1.1:

$$\text{CBR} = 2.377 f'c + 30.25 \quad (\text{Ecuación: 1.1})$$

Tabla 45. Resultados de CBR de todas las dosificaciones y pruebas

CBR	DOSIFICACIÓN	VALOR %
Z <sub>1</sub>		59.89
X <sub>1</sub>	1.00	75.00
P1.1		65.11
P2.1		55.36
Z <sub>2</sub>		66.45
X <sub>2</sub>	2.00	57.50
P1.2		100.00
P2.2		274.45
Z <sub>3</sub>		50.51
X <sub>3</sub>	3.00	76.38
P1.3		120.16
P2.3		384.42

Fuente: Fuente: El autor  
 Elaborado por: El autor

A continuación, se presentan los resultados de la Dosificación 1, 2 y 3, de la resistencia a compresión VS CBR:

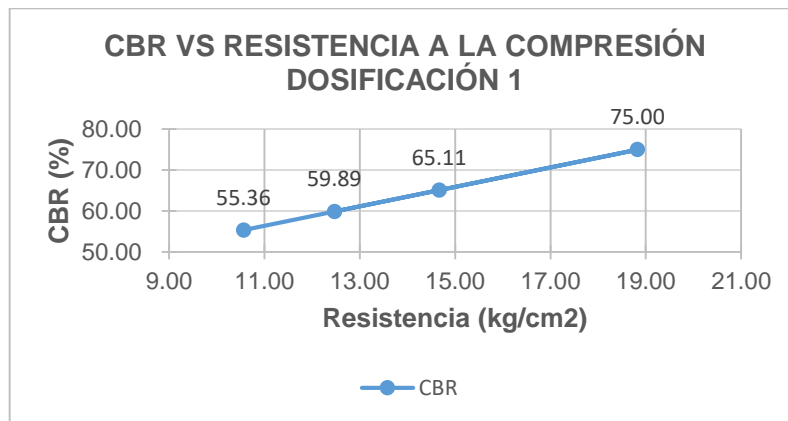


Figura 59. Resultados de resistencia VS CBR (dosificación 1)  
 Fuente: El autor  
 Elaborado por: El autor

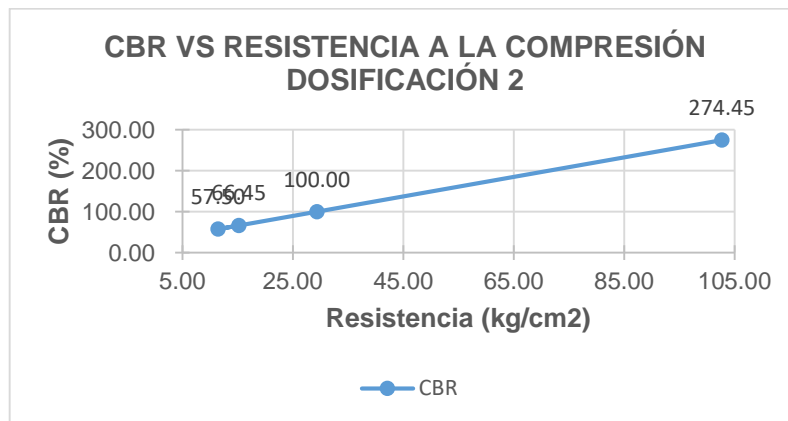


Figura 60. Resultados de resistencia VS CBR (dosificación 2)  
 Fuente: El autor  
 Elaborado por: El autor

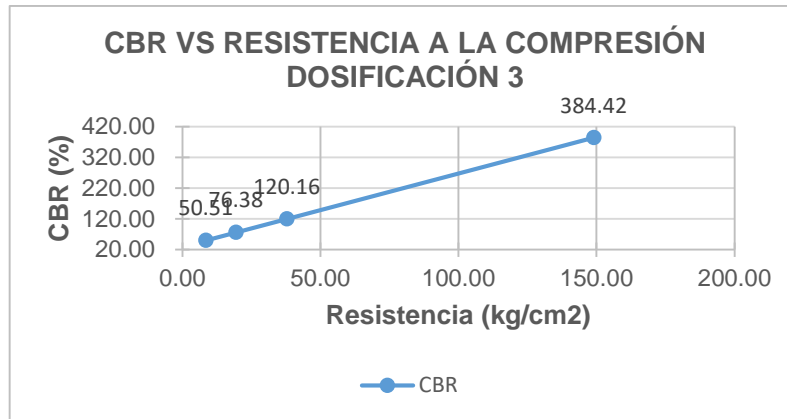


Figura 61. Resultados de resistencia VS CBR (dosificación 3)  
Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

Una vez presentado todos los resultados de las dosificaciones con sus respectivas pruebas, tanto de resistencia como de CBR, podemos elegir cuál es la más conveniente para incluirla como relleno fluido, y que reemplace a la base granular.

#### **Clasificación 1: Residuos de hormigón (AFR de hormigón)**

- Elegimos a la Prueba P1.2, que pertenece a la dosificación 2, debido a que posee una resistencia a la compresión de 29.35 kg/cm<sup>2</sup> y un CBR del 100 %.

#### **Clasificación 2: Residuos de mampostería (AFR de mampostería)**

- Elegimos a la Prueba P2.1, debido a que posee una resistencia a la compresión de 10.57 kg/cm<sup>2</sup> y un CBR del 55.36 %.
- En referencia a varios autores con respecto a la resistencia a compresión de un suelo, y de acuerdo a (Salgado & Peralta, 2015) suelo o base granular bien compactada posee una resistencia a compresión de 1.5 – 5 kg/cm<sup>2</sup>, (Granados et al., 2003) de 3.5 – 7 kg/cm<sup>2</sup> y (Santaella & Salamanca, 2002), valores de 6 – 8 kg/cm<sup>2</sup>. Si comparamos los tres parámetros de estos autores, la prueba P2.1, está en la capacidad de sustituir a una base tradicional de la estructura de un pavimento. Pero si analizamos el valor de CBR de 55.36 %, esta no cumple con el mínimo del 80 % para una base, pero este valor ha sido calculado de acuerdo de la ecuación 1.1, y esta a su vez está en función de la resistencia a compresión del suelo, por lo que el ensayo de CBR, no es recomendable hacerlo en un RF.
- La prueba P2.2 como la P2.3 alcanzaron resistencias por encima de los 100 kg/cm<sup>2</sup>, y valores de CBR de 274.45 % y 384.42 respectivamente, como se muestra en la tabla 45, y estas han sido descartadas por superar el valor mínimo permitido para un RF que es de 85 kg/cm<sup>2</sup>.

- Los AFR de mampostería, pueden trabajar sin ningún problema en la elaboración de los RF, alcanzando incluso hasta resistencias superiores a las solicitadas.

#### 4.2.3 Densidad del Relleno Fluido en estado endurecido.

Al igual que en el estado plástico, es necesario mostrar su densidad en el estado endurecido:

Tabla 46. Resultados de densidad en estado endurecido

DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO	DOSIFICACIÓN	VALOR Kg/m <sup>3</sup>
Z <sub>1</sub>		1 940
X <sub>1</sub>	1.00	1 810
P1.1		1 720
P2.1		1 380
Z <sub>2</sub>		1 970
X <sub>2</sub>	2.00	1 760
P1.2		1 730
P2.2		1 610
Z <sub>3</sub>		2 030
X <sub>3</sub>	3.00	1 450
P1.3		1 760
P2.3		1 708

Fuente: Fuente: El autor  
Elaborado por: El autor

Los resultados que se han obtenido y que se muestran en la tabla 46, son mayores si se los compara con los de la densidad en estado fresco, pero sin una diferencia significativa.

## CONCLUSIONES

### Ambiental

- Los RF han demostrado ser una solución técnico-ambiental, ya que se utilizaron los RCD para elaborar este tipo de mezclas, con lo que se evita colocar a los residuos en lugares inadecuados, con lo que se colabora con el medio ambiente.

### Granulometría del agregado fino reciclado

- Los AFR de las clasificaciones 1 y 2, no cumplieron con la norma ASTM C 33, granulometría de los AF, sin embargo, no fue un impedimento para elaborar los RF.

### Abrasión

- Uno de los métodos para bajar los porcentajes de abrasión en los AR, es hacer varios ciclos de trituración, sin embargo, estos no podrán a llegar a igualar a las propiedades de los AN.
- El mayor porcentaje de abrasión es del *44.10 %* y pertenece a la clasificación 2 de los RCD, de la que se desprende los AFR de mampostería, esto debido al alto contenido de arcilla que poseen.
- De acuerdo a los elevados resultados de desgaste, los AR no pueden formar parte de una capa de rodadura, sea losa de hormigón o de mezcla asfáltica, consecuentemente la utilización de los AFR en la elaboración de RF, es lo más acertado.

### Mortero adherido

- Se estudiaron a fondo los factores que influyen en la cantidad del mortero adherido, los cuales son la composición u origen de los RCD y el tipo de trituración que se les da a estos.
- La metodología correcta para eliminar la cantidad de mortero adherido en el AFR, es hacer varios ciclos de trituración.

### Elevada absorción de agua del agregado fino reciclado

- Los AFR de hormigón y mampostería, no cumplieron con las recomendaciones planteadas, con respecto a la absorción máxima permitida para la elaboración de los RF.
- Esta se debe exclusivamente al mortero adherido, para que los porcentajes de absorción bajen, se ha aplicado varios ciclos de trituración a los residuos.

- La Clasificación 2, es la que presenta el valor más alto de absorción como se lo puede apreciar en la tabla 44, debido a que estos residuos poseen bastante cantidad de arcilla.

### **Técnica escogida para el mejoramiento de los agregados finos reciclados**

- La técnica del *superplastificante* ha resultado efectiva, revisando los resultados de la dosificación 1, si se comparan los valores de resistencia de las pruebas P1.1 y P2.1, con los resultados de la prueba Z<sub>1</sub> que están elaborados a base de AFN, estos son muy similares, y es que este aditivo ha contrarrestado la elevada absorción de los AFR.
- Contribuyó para que la r a/c no se incremente considerablemente.

### **Aditivos químicos utilizados**

- El incorporador de aire cumplió con el objetivo planteado, que era el de limitar la densidad y la resistencia de los RF, mediante la inclusión de aire a la mezcla.

### **Propiedades en estado fresco**

- La consistencia o asentamiento que han presentado todas las dosificaciones, poseen valores elevados, característica singular del RF, tanto en las mezclas elaboradas con AFR, como en la diseñadas con AFN.

### **Propiedades en estado endurecido:**

- Todas las dosificaciones han superado el valor de la resistencia a la compresión de 7 kg/cm<sup>2</sup>, el cual equivale a un suelo o base granular bien compactada,
- Los AFR de mampostería de la clasificación 2, a pesar de contener grandes cantidades de arcilla en su composición, estos han podido ser utilizados en la elaboración de los RF. Incrementando una cantidad adicional de cemento, con respecto a los elaborados con residuos de hormigón.
- Los cubos de dimensiones de 5 cm x 5 cm, no arrojaron resultados valederos, esto debido a que este tipo de muestra se realiza para analizar morteros con arenas finas, pruebas de resistencia del cemento, ya que los materiales que se han utilizado para todas las dosificaciones, son producto de la trituración, los cuales son diferentes a las características de una arena fina.
- Se ha elegido a la Prueba P1.2, que pertenece a los AFR del hormigón, para incorporarla dentro de la estructura del pavimento, debido a que de su resistencia a la compresión es de 29.35 kg/cm<sup>2</sup>, y un CBR del 100 %, de acuerdo a la ecuación 1.1.

- Para la clasificación 2, se ha escogido a la Prueba P2.1, con una resistencia a la compresión de 10.57 kg/cm<sup>2</sup> y un CBR del 55.36 %, aunque se ha mencionado que el valor mínimo del CBR debería ser un 80 %; sin embargo, varios autores han señalado un rango promedio de resistencia a compresión que posee un suelo o base granular bien compactada de 6 – 8 kg/cm<sup>2</sup>.
- Los AFR de mampostería son muy competitivos dentro de la elaboración de los RF, ya que en las pruebas P2.2 y P2.3, esta última ensayada a través de cubos a compresión, estos alcanzaron valores de CBR de 274.45 y 384.42 respectivamente.
- En los AFR de la clasificación 2, que corresponden a los de mampostería, si se quiere llegar a un CBR mínimo del 80 %, y que este no supere un 100 %, se puede realizar un nuevo diseño, hasta encontrar el más adecuado si así se deseara; pero como ya se lo ha mencionado, la resistencia a compresión simple de un RF, es la propiedad más importante para saber si esta mezcla está o no en la capacidad de sustituir a las bases granulares, y fácilmente los AFR, alcanzan valores de CBR altos, como los de las pruebas P2.2 y P2.3.

### **Conclusiones finales**

- Los RCD se los puede utilizar al 100 %, mediante el proceso de trituración para obtener AFR y que estos se utilicen en la elaboración de los RF, realizando ajustes a la planta de trituración, para que su producción sea totalmente de 3/16", la cual es similar a una arena tritura, a un polvo de roca o filler.
- La utilización del AFR en la fabricación de los RF, ha sido lo más acertado para no desperdiciar la fracción fina reciclada cuando se trituran los escombros, ya que esta granulometría no se acepta en la inclusión para la elaboración de hormigones convencionales, y en el mejor de los casos hasta en un 50 % de utilización del agregado grueso reciclado, en el remplazo del total de la cantidad del grueso natural.

## RECOMENDACIONES

- Como se conoce que el ACI 229 es el encargado de dar las primeras pautas para el diseño de los Rellenos Fluidos, pero a su vez se recomienda dejar el diseño y elaboración a criterio del fabricante, en la que pueda utilizar los parámetros o rangos necesarios para su elaboración, y que se fabrique en base a las necesidades de cada obra.
- Aunque no es muy común utilizar agregados gruesos en la elaboración de Rellenos Fluidos, se recomienda combinar los agregados gruesos reciclados con la fracción fina, y evaluar sus resultados, sobre todo en el estado endurecido, y para ser más específico evaluar su resistencia a compresión, con lo que también se utilizaría los AGR para este tipo de mezclas cementantes.
- Se aconseja utilizar la técnica de la pre-saturación de los agregados reciclados, para mejorar la calidad de los mismos y comparar con la técnica del superplastificante aplicada para esta investigación, las cuales pueden ser utilizadas en todo tipo de mezclas cementantes elaboradas con agregados reciclados; además estas dos técnicas aplican tanto para los agregados gruesos reciclados como para los finos reciclados.
- Se recomienda hacer la comparación de la obtención de los agregados reciclados por varios procesos de trituración, en referencia a realizar solo un ciclo. También en función de los diferentes tipos de plantas trituradoras, con esto se puede comparar la cantidad de mortero adherido, entre un proceso y otro, de la que se desprende su elevada absorción de agua.



## BIBLIOGRAFÍA

- Agreda, G., & Moncada, G. (2015). VIABILIDAD EN LA ELABORACIÓN DE PREFABRICADOS EN CONCRETO USANDO AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS.
- Arce, L., & Tapia, E. (2014). Planteamiento de un manual para la gestión de los residuos de construcción y demolición en edificaciones urbanas, 131.
- ARGOS. (2013). CONCRETO FLUIDO.
- Barbudo, M. A. (2012). APLICACIONES DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS VIARIAS., 119.
- Barroso, G. de J., & Gomez, C. R. (2001). Análisis de la incorporación de materiales reciclados de los residuos de la construcción, para ser usados como agregados en elementos estructurales o no estructurales, 157.
- Begliardo, H. (2011). VALORIZACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS DE HORMIGÓN Estudio experimental de laboratorio.
- Cabezas, A. (2010). "BENEFICIO - COSTO DE RELLENOS FLUIDOS Y RELLENOS DE SUELO COMPACTADO."
- CEMEX. (n.d.). CONCRETO PROFESIONAL RELLENO FLUIDO, 1–2.
- Cervantes, G. (2005). Relleno fluido, un SUELO líquido, 16–25.
- Chauvenic, J. A. (2013). ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE HORMIGONES CON ÁRIDO RECICLADO MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DEL MÉTODO DE MEZCLADO DEL HORMIGÓN. *Tesis.Uchile.Cl*, 1–139.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cruz García, J. A., & Velásquez Yáñez, R. (2004). Concreto Reciclado, 110. Retrieved from [http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4860/1/284\\_CONCRETO RECICLADO.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4860/1/284_CONCRETO_RECICLADO.pdf)
- Escandón, J. (2011). DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ., 1–91.
- Flor Chávez, G. F. (2012). Aprovechamiento de hormigón reciclado en obras viales, 172. Retrieved from

[http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/title/aprovechamiento-hormigon-reciclado-obras-viales/id/55949474.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/aprovechamiento-hormigon-reciclado-obras-viales/id/55949474.html)

García Garrido, M. del L. (2016). Estudio de los resultados en obra y a largo plazo de la utilización de materiales reciclados de residuos de construcción y demolición (RCD) en firmes de carreteras y urbanizaciones. Retrieved from <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/40338>

García González, J. (2016). Hormigón elaborado con residuos de construcción y demolición mixtos cerámicos: optimización de sus propiedades físicas, mecánicas y durables mediante pre-saturación de los áridos, uso de superplastificantes y precipitación microbiológica de carbonato de c.

Granados, J., Landaverde, A., & Pineda, A. (2003). APLICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE), EN MEZCLAS DE RELLENOS FLUIDOS DE RESISTENCIA CONTROLADA (LODOCRETO), VARIANDO PORCENTAJES Y TIPOS DE CEMENTOS.

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (2013). Materiales fluidos de baja resistencia controlada para rellenos.

Lesheni, J. (2016). Implementación del Modelo para la Gestión Integral del Reciclaje de los RCD en el Taller de Eco-Materiales de Manicaragua.

Llanos, D. (2017). Los nanotubos de carbono como nueva alternativa de aplicación para mejorar la resistencia a la fatiga o reducir fisuramiento en diseños de pavimentos rígidos con concreto hidráulico.

Medina, M. (2015). " Implementación De Metodologías Para Y Demolición En Edificaciones De Vivienda De Material Noble En Lima . "

Mejía, L. (2010). UTILIZACIÓN DE HORMIGÓN CELULAR COMO BASE Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.

Morales, P., Chávez, O., & López, L. (2009). "Efectos De La Alta Compactación De La Capa De Base En Pavimentos Flexibles." *UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA Facultad de La Tecnología de La Construcción*, 1–90.

Norma Técnica, C. (2000). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4859.

Parra, K., & Bautista, M. (2010). DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO RESIDUOS INDUSTRIALES Y ESCOMBROS.

- Pérez, J. (2015). "Manejo sostenible de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición de edificaciones."
- Ramme, B. W., & Scholer, C. F. (n.d.). ACI 229R-99 Controlled Low-Strength Materials Reported by ACI Committee 229, 1–15.
- Revuelta, D., Fernández, L., Álvarez, L., & Carballosa, P. (2010). Obtención de mezclas de relleno fluido a partir de granulometrías inclasificadas provenientes de los procesos de machaqueo de los áridos. *Revista Técnica*.
- Rico, A. (2005). GENERALIDADES Y DEFINICIONES SOBRE LOS PAVIMENTOS.
- Rivera, E. (2008). USO DE RELLENOS FLUIDOS EN LA CONSTRUCCIÓN.
- Rivera, G. (2006). Aditivos Para Mortero Y Concreto. *Concreto Simple*, 231–255.
- Rocha Osorio, C. L. (2015). APROVECHAMIENTO Y REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN GENERADOS POR UN EVENTO ADVERSO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES SOSTENIBLES, 7–9.
- Salgado, O., & Peralta, R. (2015). ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL CONCRETO FLUIDO COMO REEMPLAZO DEL RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO – EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA CONCENTRADORA DEL PROYECTO MINERO LAS BAMBAS. *Reseña Histórica*, Resñ histórica. Retrieved from <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
- Sánchez de Juan, M. (2004). Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. *Ingeniería Civil: Construcción / E.T.S.I. Caminos, Canales Y Puertos (UPM), Tese de Do*, 502. Retrieved from <http://oa.upm.es/381/>
- Santaella, L., & Salamanca, R. (2002). ESTADO DEL ARTE DEL RELLENO FLUIDO PARA SUBBASES Y BASES GRANULARES.
- Silva Calfueque, G. (2015). "ALBAÑILERÍA RECICLADA PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN.," 1–23. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfciu.41i/doc/bmfciu.41i.pdf>
- Venegas, C., & Ucros, R. (2014). APROVECHAMIENTO DE ESCOMBROS COMO AGREGADO PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES ESTÁNDAR., 1–40.
- Vidal Rainho, C. (2015). Estudio Comparativo de los Sistemas de Gestión de RCDs entre España y Brasil ., 257.

Norma ASTM C 143 “Método de Prueba Estándar para el Asentamiento del Concreto con Cemento Hidráulico”.

Norma ASTM C 138 “Método Estándar para Densidad (Peso Unitario), Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto”.

Norma ASTM C 403 “Método Estándar para el Tiempo de Fraguado por resistencia a la Penetración para Mezclas de Concreto”.

Norma ASTM D 4832 “Método de Preparación y Ensayo de cilindros de Suelo Cemento”.

## **ANEXOS**



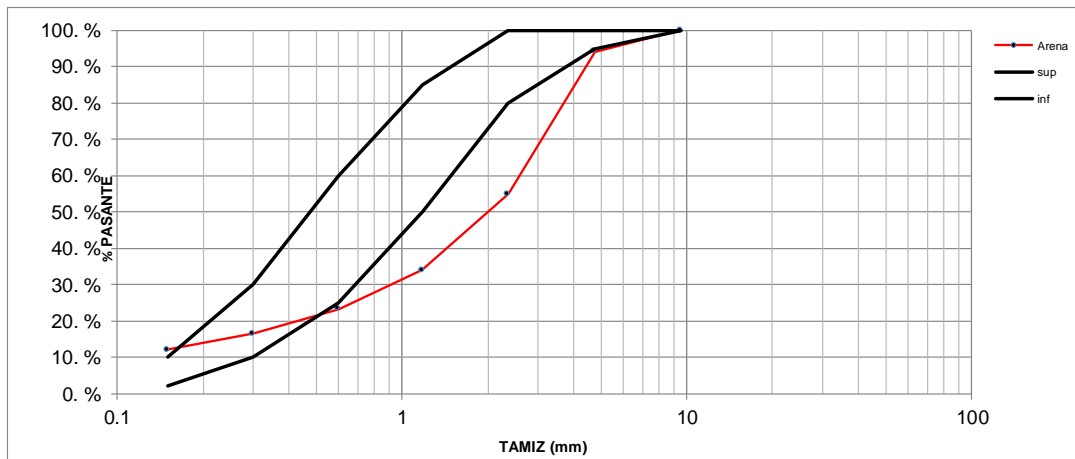
**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO NATURAL (PRUEBA Z)**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL      **FECHA:** SEPTIEMBRE 2017  
**MUESTRA:** AGREGADO FINO NATURAL  
**UBICACIÓN:** CANTERA PANUPALI

TAMIZ			CANTIDAD RETENIDA PARCIAL	CANTIDAD RETENIDA ACUMULADA	CANTIDAD QUE PASA ACUMULADA	PORCENTAJE		NORMA ASTM C 33
Nº	Pulg.	mm				RETENIDO ACUMULADO	PASANTE ACUMULADO	
	1	25.40	0.00	0.00	992.30	0.00 %	100.00 %	
	3/4	19.00	0.00	0.00	992.30	0.00 %	100.00 %	
	1/2	12.70	0.00	0.00	992.30	0.00 %	100.00 %	
	3/8	9.50	0.00	0.00	992.30	0.00 %	100.00 %	<b>100.00</b>
4	0.1870	4.75	57.79	57.79	934.51	5.82 %	94.18 %	<b>95 - 100</b>
8	0.0937	2.36	390.10	447.89	544.41	45.14 %	54.86 %	<b>80 - 100</b>
16	0.0469	1.18	207.20	655.09	337.21	66.02 %	33.98 %	<b>50 - 85</b>
30	0.0234	0.60	106.33	761.42	230.88	76.73 %	23.27 %	<b>25 - 60</b>
50	0.0117	0.30	67.05	828.47	163.83	83.49 %	16.51 %	<b>10 - 30</b>
100	0.0059	0.15	44.00	872.47	119.83	87.92 %	12.08 %	<b>2 - 10</b>
*200	0.0029	0.08	33.87	906.34	85.96	91.34 %	8.66 %	
<b>FONDO</b>			85.96	992.30	0.00	100.00 %	0.00 %	
<b>TOTAL</b>			992.30					

<b>PASANTE TAMIZ Nº. 200(LAVADO)</b>	<b>10.83%</b>	<b>MAX. 5%</b>	Módulo de Finura:	3.65
<b>DENSIDAD S.S.S:</b>			Material: NP.	
<b>PESO VOLUM. SUELTO</b>			Arena gruesa no cumple gradación	



ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



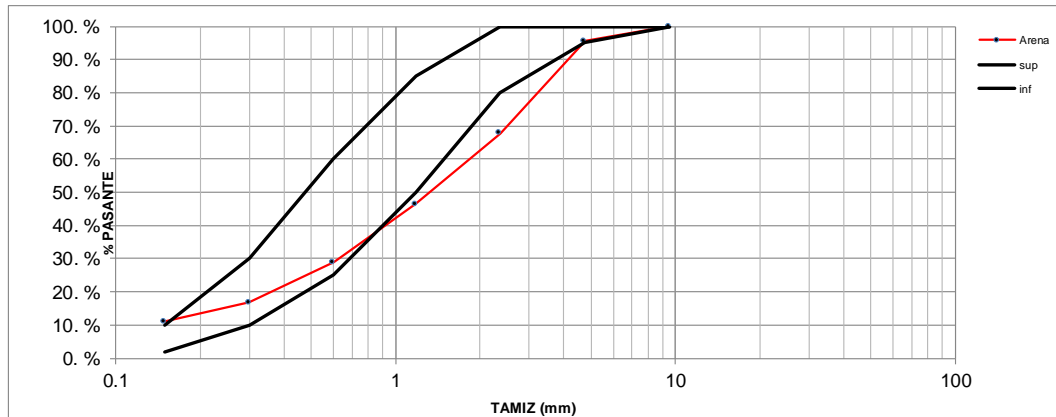
**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO RECICLADO (PRUEBA X)**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL      **FECHA:** SEPTIEMBRE 2017  
**MUESTRA:** AGREGADO FINO RECICLADO (RESIDUOS DE HORMIGÓN)  
**UBICACIÓN:** ESCOMBROS MACHALA

TAMIZ			CANTIDAD RETENIDA PARCIAL	CANTIDAD RETENIDA ACUMULADA	CANTIDAD QUE PASA ACUMULADA	PORCENTAJE		NORMA ASTM C 33
Nº	Pulg.	mm				RETENIDO ACUMULADO	PASANTE ACUMULADO	
	1	25.40	0.00	0.00	954.90	0.00 %	100.00 %	
	3/4	19.00	0.00	0.00	954.90	0.00 %	100.00 %	
	1/2	12.70	0.00	0.00	954.90	0.00 %	100.00 %	
	3/8	9.50	0.00	0.00	954.90	0.00 %	100.00 %	<b>100.00</b>
4	0.1870	4.75	42.50	42.50	912.40	4.45 %	95.55 %	<b>95 - 100</b>
8	0.0937	2.36	265.40	307.90	647.00	32.24 %	67.76 %	<b>80 - 100</b>
16	0.0469	1.18	203.60	511.50	443.40	53.57 %	46.43 %	<b>50 - 85</b>
30	0.0234	0.60	168.00	679.50	275.40	71.16 %	28.84 %	<b>25 - 60</b>
50	0.0117	0.30	115.80	795.30	159.60	83.29 %	16.71 %	<b>10 - 30</b>
100	0.0059	0.15	53.30	848.60	106.30	88.87 %	11.13 %	<b>2 - 10</b>
*200	0.0029	0.08	27.50	876.10	78.80	91.75 %	8.25 %	
<b>FONDO</b>			78.80	954.90	0.00	100.00 %	0.00 %	
<b>TOTAL</b>			954.90					

<b>PASANTE TAMIZ Nº. 200(LAVADO)</b>	<b>4.70%</b>	<b>MAX. 5%</b>	Módulo de Finura:	3.34
<b>DENSIDAD S.S.S:</b>			Material: NP.	
<b>PESO VOLUM. SUELTO</b>			Arena gruesa no cumple gradación	



ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



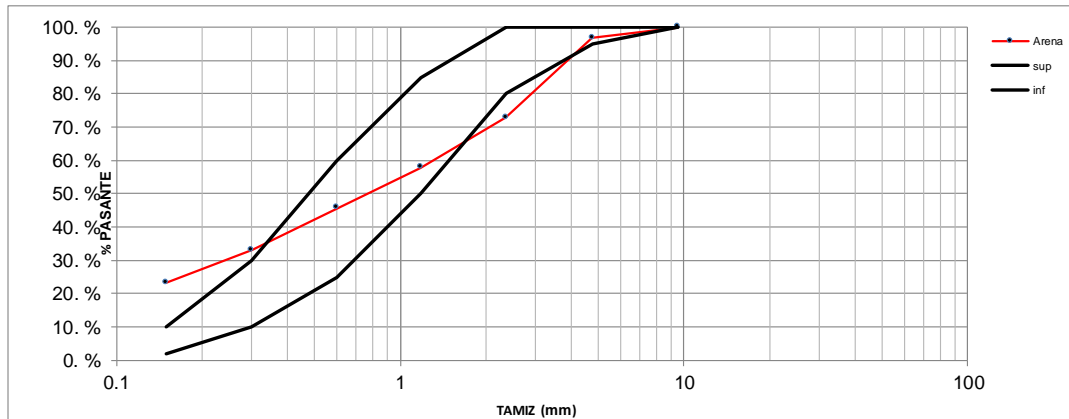
**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO RECICLADO (CLASIFICACIÓN 1)**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL      **FECHA:** SEPTIEMBRE 2017  
**MUESTRA:** AGREGADO FINO RECICLADO DE HORMIGÓN (PRUEBA 1)  
**UBICACIÓN:** ESCOMBROS DEL TERREMOTO DE MANABÍ

TAMIZ			CANTIDAD RETENIDA PARCIAL	CANTIDAD RETENIDA ACUMULADA	CANTIDAD QUE PASA ACUMULADA	PORCENTAJE		NORMA ASTM C 33
Nº	Pulg.	mm				RETENIDO ACUMULADO	PASANTE ACUMULADO	
	1	25.40	0.00	0.00	951.60	0.00 %	100.00 %	
	3/4	19.00	0.00	0.00	951.60	0.00 %	100.00 %	
	1/2	12.70	0.00	0.00	951.60	0.00 %	100.00 %	
	3/8	9.50	0.00	0.00	951.60	0.00 %	100.00 %	100.00
4	0.1870	4.75	31.60	31.60	920.00	3.32 %	96.68 %	95 - 100
8	0.0937	2.36	227.30	258.90	692.70	27.21 %	72.79 %	80 - 100
16	0.0469	1.18	142.10	401.00	550.60	42.14 %	57.86 %	50 - 85
30	0.0234	0.60	115.60	516.60	435.00	54.29 %	45.71 %	25 - 60
50	0.0117	0.30	119.50	636.10	315.50	66.85 %	33.15 %	10 - 30
100	0.0059	0.15	93.40	729.50	222.10	76.66 %	23.34 %	2 - 10
*200	0.0029	0.08	59.10	788.60	163.00	82.87 %	17.13 %	
<b>FONDO</b>			163.00	951.60	0.00	100.00 %	0.00 %	
<b>TOTAL</b>			951.60					

<b>PASANTE TAMIZ Nº. 200(LAVADO)</b>	<b>4.70%</b>	MAX. 5%	Módulo de Finura:	2.70
<b>DENSIDAD S.S.S:</b>			Material: NP.	
<b>PESO VOLUM. SUELTO</b>			Arena gruesa no cumple gradación	



ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR





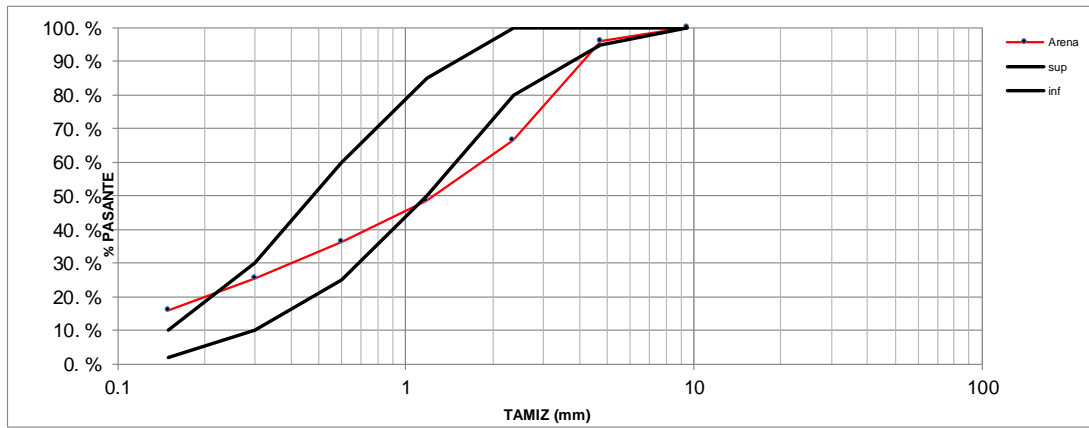
**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO RECICLADO (CLASIFICACIÓN 2)**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL      **FECHA:** SEPTIEMBRE 2017  
**MUESTRA:** AGREGADO FINO RECICLADO DE MAMPOSTERÍA (PRUEBA 2)  
**UBICACIÓN:** ESCOMBROS DEL TERREMOTO DE MANABÍ

TAMIZ			CANTIDAD RETENIDA PARCIAL	CANTIDAD RETENIDA ACUMULADA	CANTIDAD QUE PASA ACUMULADA	PORCENTAJE		NORMA ASTM C 33
Nº	Pulg.	mm				RETENIDO ACUMULADO	PASANTE ACUMULADO	
	1	25.40	0.00	0.00	1243.80	0.00 %	100.00 %	
	3/4	19.00	0.00	0.00	1243.80	0.00 %	100.00 %	
	1/2	12.70	0.00	0.00	1243.80	0.00 %	100.00 %	
	3/8	9.50	0.00	0.00	1243.80	0.00 %	100.00 %	<b>100.00</b>
4	0.1870	4.75	50.50	50.50	1193.30	4.06 %	95.94 %	<b>95 - 100</b>
8	0.0937	2.36	364.00	414.50	829.30	33.33 %	66.67 %	<b>80 - 100</b>
16	0.0469	1.18	223.10	637.60	606.20	51.26 %	48.74 %	<b>50 - 85</b>
30	0.0234	0.60	151.20	788.80	455.00	63.42 %	36.58 %	<b>25 - 60</b>
50	0.0117	0.30	137.20	926.00	317.80	74.45 %	25.55 %	<b>10 - 30</b>
100	0.0059	0.15	118.61	1044.61	199.19	83.99 %	16.01 %	<b>2 - 10</b>
*200	0.0029	0.08	64.48	1109.09	134.71	89.17 %	10.83 %	
<b>FONDO</b>			134.71	1243.80	0.00	100.00 %	0.00 %	
<b>TOTAL</b>			1243.80					

<b>PASANTE TAMIZ Nº. 200(LAVADO)</b>	<b>10.83%</b>	MAX. 5%	Módulo de Finura:	3.11
<b>DENSIDAD S.S.:</b>			Material: NP.	
<b>PESO VOLUM. SUELTO</b>			Arena gruesa no cumple gradación	



ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

PESO ESPECÍFICO (PRUEBA Z)

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL    FECHA: SEPTIEMBRE 2017  
MUESTRA: AGREGADO FINO NATURAL  
UBICACIÓN: CANTERA PANUPALI

Peso al aire de la muestra secada en el horno	<b>A</b>	494.9
<b>Ma.</b> Masa de agua añadida al matraz ( $Mmw-(Mm+B)$ )		326.6
<b>Mm.</b> Masa del matraz(grs)		170.3
<b>Mmw.</b> Masa del matraz+agua+muestra (grs)		996.9
Masa de muestra con SSS. (grs.)	<b>B</b>	500
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK.	$A/(B-Ma)$	2.854
GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S.	$B/(B-Ma)$	2.884
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE.	$A/(B+A+Mm-Mmw)$	2.941
% DE ABSORCION (Abs.)	$(B-A)/A*100$	1.03%

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

PESO ESPECÍFICO (PRUEBA X)

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL      FECHA: SEPTIEMBRE 2017  
MUESTRA: AGREGADO FINO RECICLADO (RESIDUOS DE HORMIGÓN)  
UBICACIÓN: ESCOMBROS MACHALA

Peso al aire de la muestra secada en el horno	<b>A</b>	458.9
<b>Ma.</b> Masa de agua añadida al matraz ( $Mmw-(Mm+B)$ )		273.5
<b>Mm.</b> Masa del matraz(grs)		170.3
<b>Mmw.</b> Masa del matraz+agua+muestra (grs)		943.8
Masa de muestra con SSS. (grs.)	<b>B</b>	500
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK.	$A/(B-Ma)$	2.026
GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S.	$B/(B-Ma)$	2.208
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE.	$A/(B+A+Mm-Mmw)$	2.475
% DE ABSORCION (Abs.)	$(B-A)/A*100$	8.96%

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

PESO ESPECÍFICO (CLASIFICACIÓN 1)

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL      FECHA: SEPTIEMBRE 2017  
MUESTRA: AGREGADO FINO RECICLADO DE HORMIGÓN (PRUEBA 1)  
UBICACIÓN: ESCOMBROS DEL TERREMOTO DE MANABÍ

Peso al aire de la muestra secada en el horno	<b>A</b>	460.5
<b>Ma.</b> Masa de agua añadida al matraz ( $Mmw-(Mm+B)$ )		287.6
<b>Mm.</b> Masa del matraz(grs)		170.3
<b>Mmw.</b> Masa del matraz+agua+muestra (grs)		957.9
Masa de muestra con SSS. (grs.)	<b>B</b>	500
<hr/>		
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK.	$A/(B-Ma)$	2.168
GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S.	$B/(B-Ma)$	2.354
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE.	$A/(B+A+Mm-Mmw)$	2.663
% DE ABSORCION (Abs.)	$(B-A)/A*100$	8.58%

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

PESO ESPECÍFICO (CLASIFICACIÓN 2)

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL      FECHA: SEPTIEMBRE 2017  
MUESTRA: AGREGADO FINO RECICLADO DE MAMPOSTERÍA (PRUEBA 2)  
UBICACIÓN: ESCOMBROS DEL TERREMOTO DE MANABÍ

Peso al aire de la muestra secada en el horno	<b>A</b>	448.7
<b>Ma.</b> Masa de agua añadida al matraz ( $Mmw-(Mm+B)$ )		260.3
<b>Mm.</b> Masa del matraz(grs)		170.3
<b>Mmw.</b> Masa del matraz+agua+muestra (grs)		930.6
Masa de muestra con SSS. (grs.)	<b>B</b>	500
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK.	$A/(B-Ma)$	1.872
GRAVEDAD ESPECIFICA S.S.S.	$B/(B-Ma)$	2.086
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE.	$A/(B+A+Mm-Mmw)$	2.382
% DE ABSORCION (Abs.)	$(B-A)/A*100$	11.43%

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

ENSAYO DE ABRASIÓN (PRUEBA Z)

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL    **FECHA:** SEPTIEMBRE 2017  
**MUESTRA:** AGREGADO FINO NATURAL    **NORMA:** Norma ASTM C 131,  
**UBICACIÓN:** CANTERA PANUPALI    Graduación "B"

ENSAYO DE DESGASTE DE AGREGADOS (máquina de los Ángeles)			
A	Peso del material antes del ensayo	grs.	5000.10
B	Retenido tamiz N°.12	grs.	3984.40
C= A-B	Pérdida por desgaste	grs.	1015.70
<b>D = (C / A)*100</b>	<b>PORCENTAJE DESGASTE</b>	<b>%</b>	<b>20.30</b>

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

ENSAYO DE ABRASIÓN (PRUEBA X)

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL **FECHA:** SEPTIEMBRE 2017  
**MUESTRA:** AGREGADO FINO RECICLADO (RESIDUOS DE HORMIGÓN) **NORMA:** Norma ASTM C 131,  
**UBICACIÓN:** ESCOMBROS MACHALA Graduación "B"

ENSAYO DE DESGASTE DE AGREGADOS (máquina de los Ángeles)			
A	Peso del material antes del ensayo	grs.	4999.70
B	Retenido tamiz N°.12	grs.	3397.60
C= A-B	Pérdida por desgaste	grs.	1602.10
<b>D = (C / A)*100</b>	<b>PORCENTAJE DESGASTE</b>	<b>%</b>	<b>32.00</b>

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

ENSAYO DE ABRASIÓN (CLASIFICACIÓN 1)

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL **FECHA:** SEPTIEMBRE 2017  
**MUESTRA:** AGREGADO FINO RECICLADO DE HORMIGÓN (PRUEBA 1) **NORMA:** Norma ASTM C 131,  
**UBICACIÓN:** ESCOMBROS DEL TERREMOTO DE MANABÍ Graduación "B"

ENSAYO DE DESGASTE DE AGREGADOS (máquina de los Ángeles)			
A	Peso del material antes del ensayo	grs.	5003.50
B	Retenido tamiz N°.12	grs.	3194.90
C= A-B	Pérdida por desgaste	grs.	1808.60
<b>D = (C / A)*100</b>	<b>PORCENTAJE DESGASTE</b>	<b>%</b>	<b>36.10</b>

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

ENSAYO DE ABRASIÓN (CLASIFICACIÓN 2)

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL **FECHA:** SEPTIEMBRE 2017  
**MUESTRA:** AGREGADO FINO RECICLADO DE MAMPOSTERÍA (PRUEBA 2) **NORMA:** Norma ASTM C 131,  
**UBICACIÓN:** ESCOMBROS DEL TERREMOTO DE MANABÍ Graduación "B"

ENSAYO DE DESGASTE DE AGREGADOS (máquina de los Ángeles)			
A	Peso del material antes del ensayo	grs.	5002.20
B	Retenido tamiz N°.12	grs.	2796.70
C= A-B	Pérdida por desgaste	grs.	2205.50
<b>D = (C / A)*100</b>	<b>PORCENTAJE DESGASTE</b>	<b>%</b>	<b>44.10</b>

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

**DISEÑOS DE RELLENOS FLUIDOS (PARA 1 m<sup>3</sup>)**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

**MUESTRA:** RELLENOS FLUIDOS

**FECHA:** NOVIEMBRE 2017

**UBICACIÓN:** PEDERNALES

**DOSIFICACIÓN 1**

PRUEBA	f <sup>c</sup> DESEADA (kg/cm <sup>2</sup> )	R A/C	CEMENTO (kg)	AGUA (kg)	AGREGADO FINO RECICLADO (kg)	SUPERPLASTIFICANTE (kg)	RETARDANTE (kg)	INCORPORADOR DE AIRE (kg)
P.Z1	10 - 30	2	150	300	1871.66	1.95	0.75	1.5
P.X.1	10 - 30	2	150	300	1432.95	1.95	0.75	1.5
P.1.1	10 - 30	2	150	300	1527.7	1.95	0.75	1.5
P.2.1	10 - 30	2	150	300	1353.77	1.95	0.75	1.5

**DOSIFICACIÓN 2**

PRUEBA	f <sup>c</sup> DESEADA (kg/cm <sup>2</sup> )	R A/C	CEMENTO (kg)	AGUA (kg)	AGREGADO FINO RECICLADO (kg)	SUPERPLASTIFICANTE (kg)	RETARDANTE (kg)	INCORPORADOR DE AIRE (kg)
P.Z2	10 - 30	2	150	300	1871.66	1.95	0.75	1.5
P.X.2	10 - 30	2.5	111.11	444.44	1408.44	1.44	0.56	1.11
P.1.2	10 - 30	2	225	450	1114.55	2.93	1.13	2.25
P.2.2	10 - 30	2	300	600	621.54	3.9	1.5	3

**DOSIFICACIÓN 3**

PRUEBA	f <sup>c</sup> DESEADA (kg/cm <sup>2</sup> )	R A/C (efectiva)	CEMENTO (kg)	AGUA (kg)	AGREGADO FINO RECICLADO (kg)	SUPERPLASTIFICANTE (kg)	RETARDANTE (kg)	INCORPORADOR DE AIRE (kg)
P.Z3	10 - 30	1.6	150	240	1892	1.95	0.75	1.5
P.X.3	10 - 30	1.7	150	255	1480.75	1.95	0.75	1.5
P.1.3	10 - 30	1.14	225	256.75	1307.8	2.93	1.13	2.25
P.2.3	10 - 30	1.32	300	396.33	825.31	3.9	1.5	3

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

DENSIDAD EN ESTADO FRESCO

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL  
MUESTRA: RELLENOS FLUIDOS  
UBICACIÓN: PEDERNALES  
FECHA: DICIEMBRE 2017

DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN	PRUEBA	PESO DE LA MUESTRA (kg)	VOLUMEN DE LA OLLA DE WASHINGTON (m <sup>3</sup> )	VALOR (kg/m <sup>3</sup> )
Densidad en estado fresco	1.00	Z1	12.35	0.007	1 764.00
Densidad en estado fresco	1.00	X1	10.20	0.007	1 457.14
Densidad en estado fresco	1.00	P1.1	11.38	0.007	1 625.00
Densidad en estado fresco	1.00	P2.1	8.48	0.007	1 210.95
Densidad en estado fresco	2.00	Z2	13.15	0.007	1 879.00
Densidad en estado fresco	2.00	X2	9.98	0.007	1 425.69
Densidad en estado fresco	2.00	P1.2	11.30	0.007	1 614.29
Densidad en estado fresco	2.00	P2,2	10.07	0.007	1 438.57
Densidad en estado fresco	3.00	Z3	12.16	0.007	1 737.14
Densidad en estado fresco	3.00	X3	10.03	0.007	1 432.58
Densidad en estado fresco	3.00	P1.3	12.72	0.007	1 817.55
Densidad en estado fresco	3.00	P2.3	10.44	0.007	1 491.80

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

CONTENIDO DE AIRE

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL  
**MUESTRA:** RELLENOS FLUIDOS **FECHA:** DICIEMBRE 2017  
**UBICACIÓN:** PEDERNALES

DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN	PRUEBA	UNIDAD	VALOR
Contenido de aire	1.00	Z1	%	19.00
Contenido de aire	1.00	X1	%	18.50
Contenido de aire	1.00	P1.1	%	19.00
Contenido de aire	1.00	P2.1	%	19.00
Contenido de aire	2.00	Z2	%	18.00
Contenido de aire	2.00	X2	%	18.00
Contenido de aire	2.00	P1.2	%	18.00
Contenido de aire	2.00	P2,2	%	21.00
Contenido de aire	3.00	Z3	%	24.00
Contenido de aire	3.00	X3	%	21.00
Contenido de aire	3.00	P1.3	%	22.00
Contenido de aire	3.00	P2.3	%	19.50

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

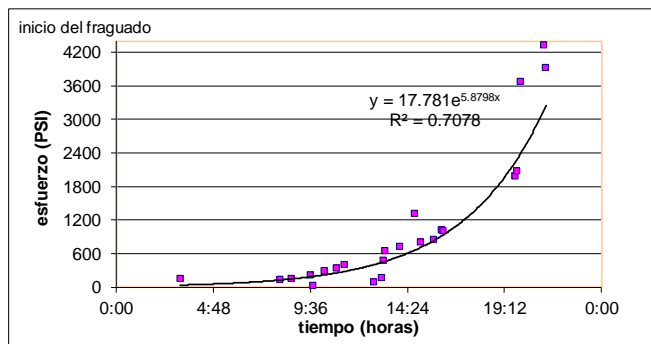
**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE RELLENO FLUIDO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN**

**PRUEBA Z**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL  
**MUESTRA:** PZ.3  
**UBICACIÓN:** CANTERA PANUPALI  
**FECHA:** DICIEMBRE 2017

<b>PROYECTO:</b>		MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL	
<b>Normas de referencia:</b>		<b>Tipo Relleno Fluido</b>	
ASTM C 403/403 M-95		F'c 30 Kg/cm2 Rev: 22 cnt	
Temperatura ambiente = 37.5 °c		<b>Aditivos y/o Adiciones:</b>	
Temperatura del Relleno Fluido = 29.0 °c		ref: Retardante 0.50%	
		Superplastificante 1.30%	
		Incorporador de aire 1.00%	
<b>inicio ensayo</b>		<b>referencia para fraguado</b>	
dia:	14-dic-17	f. inicial	500 psi
hora:	10:15	f. final	4200 psi

Hora	tiempo (min)	Área aguja (in)	Fuerza (ponds)	Esfuerzo (psi)
20:00	9:45	1	20	20
23:00	12:45	1	85	85
18:21	8:06	1	130	130
23:24	13:09	0.5	85	170
18:54	8:39	0.5	72	144
13:25	3:10	0.5	75	150
19:52	9:37	0.5	110	220
23:28	13:13	0.25	120	480
20:32	10:17	0.25	72	288
21:08	10:53	0.25	85	340
21:32	11:17	0.25	100	400
23:32	13:17	0.1	65	650
0:16	14:01	0.1	73	730
1:19	15:04	0.1	81	810
1:57	15:42	0.1	85	850
2:20	16:05	0.1	102	1020
2:25	16:10	0.05	50	1000
1:02	14:47	0.05	66	1320
6:00	19:45	0.05	99	1980
6:05	19:50	0.025	52	2080
7:30	21:15	0.025	98	3920
6:15	20:00	0.025	92	3680
7:25	21:10	0.025	108	4320



**RESULTADOS**  
**FRAGUADO INICIAL**  
 13:37 horas  
**FRAGUADO FINAL**  
 22:18 horas

**Observaciones:**  
 Se realizó ajuste a una ecuación exponencial

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE RELLENO FLUIDO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN**

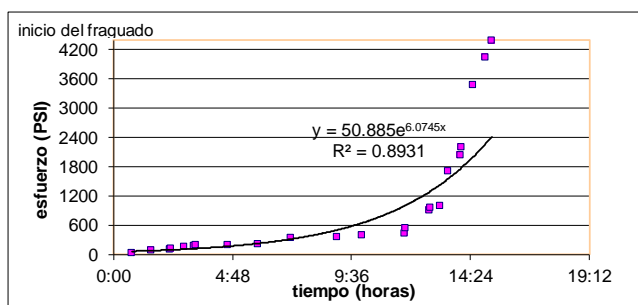
**PRUEBA X**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL  
**MUESTRA:** PX.1  
**UBICACIÓN:** CANTERA PANUPALI

**FECHA:** NOVIEMBRE 2017

<b>PROYECTO:</b> MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL							
<b>Normas de referencia:</b>  <b>ASTM C 403/403 M-95</b>  Temperatura ambiente = 36.5 °c Temperatura del Relleno Fluido = 29.0 °c	<b>Tipo Relleno Fluido</b> F' c 30 Kg/cm2 Rev: 22 cnt						
<b>Aditivos y/o Adiciones:</b>	<b>ref:</b> Retardante 0.50%						
	Superplastificante 1.30%						
	Incorporador de aire 1.0%						
<b>inicio ensayo</b>	<table border="1"> <tr> <td>dia:</td> <td>29-nov-17</td> </tr> <tr> <td>hora</td> <td>10:30</td> </tr> </table>	dia:	29-nov-17	hora	10:30		
dia:	29-nov-17						
hora	10:30						
<b>referencia para fraguado</b>	<table border="1"> <tr> <td>f. inicial</td> <td>500</td> <td>psi</td> </tr> <tr> <td>f. final</td> <td>4200</td> <td>psi</td> </tr> </table>	f. inicial	500	psi	f. final	4200	psi
f. inicial	500	psi					
f. final	4200	psi					

Hora	tiempo (min)	Área aguja (in)	Fuerza (ponds)	Esfuerzo (psi)
11:14	0:44	1	24	24
12:00	1:30	1	75	75
12:45	2:15	1	102	102
12:47	2:17	0.5	62	124
13:21	2:51	0.5	80	160
13:45	3:15	0.5	90	180
13:48	3:18	0.25	47	188
15:05	4:35	0.25	49	196
16:18	5:48	0.25	54	216
17:38	7:08	0.25	85	340
19:30	9:00	0.25	90	360
20:30	10:00	0.25	97	388
22:15	11:45	0.25	108	432
22:16	11:46	0.1	53	530
23:15	12:45	0.1	90	900
23:17	12:47	0.05	48	960
23:40	13:10	0.05	50	1000
0:00	13:30	0.05	85	1700
0:30	14:00	0.05	102	2040
0:31	14:01	0.025	55	2200
1:00	14:30	0.025	87	3480
1:30	15:00	0.025	101	4040
1:45	15:15	0.025	110	4400



**RESULTADOS**  
**FRAGUADO INICIAL**  
**09:01 horas**  
**FRAGUADO FINAL**  
**17:26 horas**

Observaciones::  
Se realizó ajuste a una ecuación exponencial

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

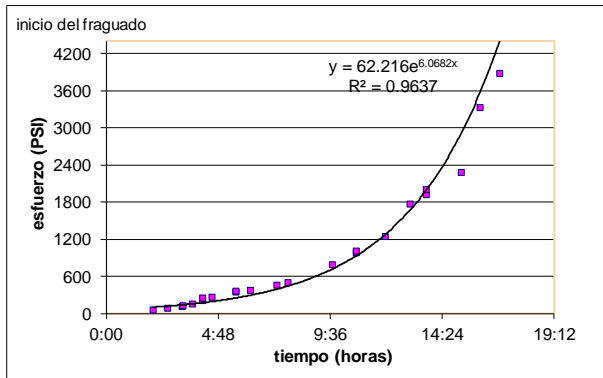
**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE RELLENO FLUIDO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN**

**CLASIFICACIÓN 1**

<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL	<b>FECHA:</b>	DICIEMBRE 2017
<b>MUESTRA:</b>	P1.2		
<b>UBICACIÓN:</b>	CANTERA PANUPALI		

<b>PROYECTO:</b>		MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL	
<b>Normas de referencia:</b>		<b>Tipo Relleno Fluido</b>	
ASTM C 403/403 M-95		F'c 30 Kg/cm2 Rev: 22 cnt	
Temperatura ambiente = 36.5 °c		<b>Aditivos y/o Adiciones:</b>	
Temperatura del Relleno Fluido = 29.0 °c		ref: Retardante dosif: % 0.50%	
		Superplastificante 1.30%	
		Incorporador de aire 1.0%	
<b>inicio ensayo</b>	dia: 4-dic-17	<b>referencia para fraguado</b>	
	hora: 9:17	f. inicial	500 psi
		f. final	4200 psi

Hora	tiempo (min)	Área aguja (in)	Fuerza (ponds)	Esfuerzo (psi)
11:18	2:01	1	56	56
11:55	2:38	1	85	85
12:34	3:17	1	110	110
12:35	3:18	0.5	58	116
13:00	3:43	0.5	72	144
13:25	4:08	0.5	105	210
13:26	4:09	0.25	60	240
13:50	4:33	0.25	66	264
14:51	5:34	0.25	87	348
14:52	5:35	0.1	35	350
15:29	6:12	0.1	37	370
16:36	7:19	0.1	45	450
17:06	7:49	0.1	50	500
19:00	9:43	0.1	79	790
20:00	10:43	0.1	98	980
20:02	10:45	0.05	50	1000
21:15	11:58	0.05	62	1240
22:20	13:03	0.05	88	1760
23:00	13:43	0.05	96	1920
23:02	13:45	0.025	50	2000
0:30	15:13	0.025	57	2280
1:20	16:03	0.025	83	3320
2:10	16:53	0.025	97	3880
3:05	17:48	0.025	110	4400



<b>RESULTADOS</b>
<b>FRAGUADO INICIAL</b>
<b>08:14 horas</b>
<b>FRAGUADO FINAL</b>
<b>16:38 horas</b>

Observaciones::
Se realizó ajuste a una ecuación exponencial

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

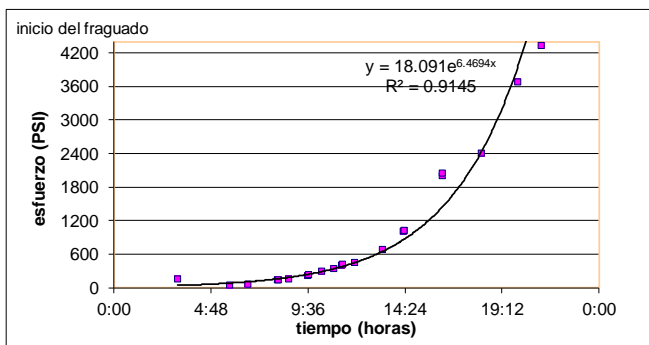
**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE RELLENO FLUIDO POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN**

**CLASIFICACIÓN 2**

<b>PROYECTO:</b>	TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL	<b>FECHA:</b>	DICIEMBRE 2017
<b>MUESTRA</b>	P2.2		
<b>UBICACIÓN:</b>	CANTERA PANUPALI		

<b>PROYECTO:</b>		MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL	
<b>Normas de referencia:</b>		<b>Tipo Relleno Fluido</b>	
ASTM C 403/403 M-95		F'c 30 Kg/cm2 Rev: 22 cnt	
Temperatura ambiente = 37.5 °c		<b>ref:</b>	
Temperatura del Relleno Fluido = 29.0 °c		Retardante 0.50%	
		Superplastificante 0.50%	
		Incorporador de aire 1.0%	
<b>inicio ensayo</b>	dia: 6-dic-17	<b>referencia para fraguado</b>	
	hora: 10:15	f. inicial	500 psi
		f. final	4200 psi

Hora	tiempo (min)	Área aguja (in)	Fuerza (ponds)	Esfuerzo (psi)
16:00	5:45	1	39	39
16:54	6:39	1	64	64
18:21	8:06	1	130	130
18:23	8:08	0.5	68	136
18:54	8:39	0.5	72	144
13:25	3:10	0.5	75	150
19:52	9:37	0.5	110	220
19:54	9:39	0.25	58	232
20:32	10:17	0.25	72	288
21:08	10:53	0.25	85	340
21:32	11:17	0.25	100	400
21:34	11:19	0.1	42	420
22:12	11:57	0.1	45	450
23:32	13:17	0.1	68	680
0:34	14:19	0.1	100	1000
0:38	14:23	0.05	51	1020
2:30	16:15	0.05	100	2000
2:31	16:16	0.025	51	2040
4:26	18:11	0.025	60	2400
6:15	20:00	0.025	92	3680
7:25	21:10	0.025	108	4320



<b>RESULTADOS</b>
<b>FRAGUADO INICIAL</b>
<b>12:18 horas</b>
<b>FRAGUADO FINAL</b>
<b>20:12 horas</b>

<b>Observaciones:</b>
Se realizó ajuste a una ecuación exponencial

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS RELLENOS FLUIDOS

DOSIFICACIÓN 1

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL  
MUESTRA: DOSIFICACIÓN 1 NORMA: ASTM D 4832  
UBICACIÓN: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO cm	AREA cm2	PESO kg	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z.1	17/11/2017	3	20/11/2017	10	78.54	2.875	4.524	0.514	5.24
Prueba Z.1	17/11/2017	3	20/11/2017	10	78.54	2.901	3.457	0.485	4.95
Prueba Z.1	17/11/2017	7	24/11/2017	10	78.54	2.969	6.603	0.841	8.58
Prueba Z.1	17/11/2017	7	24/11/2017	10	78.54	2.895	6.325	0.752	7.67
Prueba Z.1	17/11/2017	14	1/12/2017	10	78.54	2.91	8.47	1.078	11
Prueba Z.1	17/11/2017	14	1/12/2017	10	78.54	2.894	8.432	1.057	10.78
Prueba Z.1	17/11/2017	28	15/12/2017	10	78.54	3.035	9.791	1.247	12.72
Prueba Z.1	17/11/2017	28	15/12/2017	10	78.54	3.045	9.647	1.198	12.22
Prueba Z.1	17/11/2017	103	28/2/2018	10	78.54	3.081	11.36	1.45	14.79
Prueba Z.1	17/11/2017	103	28/2/2018	10	78.54	3.079	11.345	1.432	14.61

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO CM	AREA CM2	PESO KG	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba X.1	29/11/2017	7	6/12/2017	10	78.54	2.74	7.559	0.962	9.81
Prueba X.1	29/11/2017	7	6/12/2017	10	78.54	2.63	6.603	0.841	8.58
Prueba X.1	29/11/2017	14	13/12/2017	10	78.54	2.765	12.842	1.635	16.68
Prueba X.1	29/11/2017	14	13/12/2017	10	78.54	2.685	10.997	1.4	14.28
Prueba X.1	29/11/2017	28	27/12/2017	10	78.54	2.774	12.955	1.65	16.83
Prueba X.1	29/11/2017	28	27/12/2017	10	78.54	2.924	16.029	2.041	20.82
Prueba X.1	29/11/2017	91	28/2/2018	10	78.54	2.879	23.975	3.053	31.14
Prueba X.1	29/11/2017	91	28/2/2018	10	78.54	2.785	19.587	2.857	29.14

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO cm	AREA cm2	PESO kg	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba 1.1	24/11/2017	3	27/11/2017	10	78.54	2.535	3.25	0.42	4.28
Prueba 1.1	24/11/2017	3	27/11/2017	10	78.54	2.465	3.079	0.392	4
Prueba 1.1	24/11/2017	7	1/12/2017	10	78.54	2.675	5.71	0.686	7
Prueba 1.1	24/11/2017	7	1/12/2017	10	78.54	2.635	5.49	0.686	7
Prueba 1.1	24/11/2017	14	8/12/2017	10	78.54	2.67	6.944	0.884	9.02
Prueba 1.1	24/11/2017	14	8/12/2017	10	78.54	2.63	7.149	0.91	9.28
Prueba 1.1	24/11/2017	28	22/12/2017	10	78.54	2.749	11.02	1.403	14.31
Prueba 1.1	24/11/2017	28	22/12/2017	10	78.54	2.655	11.566	1.473	15.02
Prueba 1.1	24/11/2017	96	28/2/2018	10	78.54	2.765	10.974	1.397	14.25
Prueba 1.1	24/11/2017	96	28/2/2018	10	78.54	2.74	11.01	1.45	14.79

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO cm	AREA cm2	PESO kg	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba 2.1	28/11/2017	7	5/12/2017	10	78.54	2.175	3.69	0.47	4.79
Prueba 2.1	28/11/2017	7	5/12/2017	10	78.54	2.16	3.25	0.414	4.22
Prueba 2.1	28/11/2017	14	12/12/2017	10	78.54	2.147	5.218	0.658	6.71
Prueba 2.1	28/11/2017	14	12/12/2017	10	78.54	2.175	5.045	0.587	5.99
Prueba 2.1	28/11/2017	28	26/12/2017	10	78.54	2.175	11.124	1.025	10.46
Prueba 2.1	28/11/2017	28	26/12/2017	10	78.54	2.173	11.547	1.046	10.67
Prueba 2.1	28/11/2017	92	28/2/2018	10	78.54	2.164	12.054	1.245	12.7
Prueba 2.1	28/11/2017	92	28/2/2018	10	78.54	2.147	11.857	1.158	11.81

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS RELLENOS FLUIDOS

DOSIFICACIÓN 2

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL  
MUESTRA: DOSIFICACIÓN 2 NORMA: ASTM D 4832  
UBICACIÓN: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

MUESTRA	FECHA	EDAD	FECHA	DIÁMETRO	AREA	PESO	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	FABRICACIÓN	DÍAS	ROTURA	CM	CM2	KG	KN	MPA	Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z.2	17/11/2017	3	20/11/2017	10	78.54	3.074	7.895	0.587	5.99
Prueba Z.2	17/11/2017	3	20/11/2017	10	78.54	3.087	8.675	0.657	6.7
Prueba Z.2	17/11/2017	7	24/11/2017	10	78.54	3.102	8.045	1.002	10.22
Prueba Z.2	17/11/2017	7	24/11/2017	10	78.54	3.132	8.106	1.032	10.53
Prueba Z.2	17/11/2017	14	1/12/2017	10	78.54	3.098	10.985	1.392	14.2
Prueba Z.2	17/11/2017	14	1/12/2017	10	78.54	3.1	11.771	1.499	15.29
Prueba Z.2	17/11/2017	28	15/12/2017	10	78.54	3.091	11.675	1.511	15.41
Prueba Z.2	17/11/2017	28	15/12/2017	10	78.54	3.085	11.544	1.475	15.05
Prueba Z.2	17/11/2017	103	28/2/2018	10	78.54	3.087	14.984	1.857	18.94
Prueba Z.2	17/11/2017	103	28/2/2018	10	78.54	3.151	15.414	1.963	20.02

MUESTRA	FECHA	EDAD	FECHA	DIÁMETRO	AREA	PESO	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	FABRICACIÓN	DÍAS	ROTURA	cm	cm <sup>2</sup>	kg	KN	MPA	Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba X.2	22/11/2017	7	29/11/2017	10	78.54	2.58	4.852	0.684	6.98
Prueba X.2	22/11/2017	7	29/11/2017	10	78.54	2.495	4.759	0.578	5.9
Prueba X.2	22/11/2017	14	6/12/2017	10	78.54	2.62	8.106	1.032	10.53
Prueba X.2	22/11/2017	14	6/12/2017	10	78.54	2.547	6.854	0.905	9.23
Prueba X.2	22/11/2017	28	20/12/2017	10	78.54	2.76	8.903	1.134	11.57
Prueba X.2	22/11/2017	28	20/12/2017	10	78.54	2.758	8.502	1.114	11.36
Prueba X.2	22/11/2017	98	28/2/2018	10	78.54	2.81	13.574	1.578	16.1
Prueba X.2	22/11/2017	98	28/2/2018	10	78.54	2.801	13.147	1.487	15.17

MUESTRA	FECHA	EDAD	FECHA	DIÁMETRO	AREA	PESO	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	FABRICACIÓN	DÍAS	ROTURA	CM	CM2	KG	KN	MPA	Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba 1.2	4/12/2017	7	11/12/2017	10	78.54	2.762	12.887	1.641	16.74
Prueba 1.2	4/12/2017	7	11/12/2017	10	78.54	2.684	10.656	1.357	13.84
Prueba 1.2	4/12/2017	14	18/12/2017	10	78.54	2.736	16.439	2.093	21.35
Prueba 1.2	4/12/2017	14	18/12/2017	10	78.54	2.741	15.961	2.032	20.73
Prueba 1.2	4/12/2017	28	1/1/2018	10	78.54	2.725	22.086	2.812	28.68
Prueba 1.2	4/12/2017	28	1/1/2018	10	78.54	2.723	23.11	2.942	30.01
Prueba 1.2	4/12/2017	86	28/2/2018	10	78.54	2.71	25.621	3.284	33.5
Prueba 1.2	4/12/2017	86	28/2/2018	10	78.54	2.723	27.547	3.451	35.2

MUESTRA	FECHA	EDAD	FECHA	DIÁMETRO	AREA	PESO	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	FABRICACIÓN	DÍAS	ROTURA	CM	CM2	KG	KN	MPA	Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba 2.2	6/12/2017	7	13/12/2017	10	78.54	2.53	52.026	6.624	67.56
Prueba 2.2	6/12/2017	7	13/12/2017	10	78.54	2.52	53.279	6.784	69.2
Prueba 2.2	6/12/2017	14	20/12/2017	10	78.54	2.572	62.147	8.521	86.91
Prueba 2.2	6/12/2017	14	20/12/2017	10	78.54	2.458	60.258	8.024	81.84
Prueba 2.2	6/12/2017	28	3/1/2018	10	78.54	2.585	82.65	10.523	107.33
Prueba 2.2	6/12/2017	28	3/1/2018	10	78.54	2.48	75.569	9.622	98.14
Prueba 2.2	6/12/2017	84	28/2/2018	10	78.54	2.56	97.313	12.39	126.38
Prueba 2.2	6/12/2017	84	28/2/2018	10	78.54	2.548	96.494	12.286	125.32

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

**RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS RELLENOS FLUIDOS**

**DOSIFICACIÓN 3**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL  
**MUESTRA:** DOSIFICACIÓN 3 **NORMA:** ASTM D 4832  
**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

MUESTRA	FECHA	EDAD	FECHA	DIÁMETRO	AREA	PESO	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	FABRICACIÓN	DÍAS	ROTURA	CM	CM2	KG	KN	MPA	Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z3	14/12/2017	7	21/12/2017	10	78.54	3.021	4.51	0.57	5.81
Prueba Z3	14/12/2017	7	21/12/2017	10	78.54	3.216	4.66	0.59	6.02
Prueba Z3	14/12/2017	14	28/12/2017	10	78.54	2.977	7.286	0.928	9.47
Prueba Z3	14/12/2017	14	28/12/2017	10	78.54	2.847	6.875	0.875	8.93
Prueba Z3	14/12/2017	28	11/1/2018	10	78.54	3.192	6.5	0.83	8.47
Prueba Z3	14/12/2017	28	11/1/2018	10	78.54	3.201	6.611	0.841	8.58
Prueba Z3	14/12/2017	76	28/2/2018	10	78.54	3.392	12.91	1.644	16.77
Prueba Z3	14/12/2017	76	28/2/2018	10	78.54	3.247	11.875	1.574	16.05

MUESTRA	FECHA	EDAD	FECHA	DIÁMETRO	AREA	PESO	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	FABRICACIÓN	DÍAS	ROTURA	CM	CM2	KG	KN	MPA	Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba X3	14/12/2017	7	21/12/2017	10	78.54	2.775	8.356	1.064	10.85
Prueba X3	14/12/2017	7	21/12/2017	10	78.54	2.685	7.258	0.912	9.3
Prueba X3	14/12/2017	14	28/12/2017	10	78.54	2.69	7.65	0.974	9.93
Prueba X3	14/12/2017	14	28/12/2017	10	78.54	2.574	7.514	0.914	9.32
Prueba X3	14/12/2017	28	11/1/2018	10	78.54	2.28	15.164	1.931	19.7
Prueba X3	14/12/2017	28	11/1/2018	10	78.54	2.274	14.875	1.874	19.11
Prueba X3	14/12/2017	76	28/2/2018	10	78.54	2.714	17.784	2.645	26.98
Prueba X3	14/12/2017	76	28/2/2018	10	78.54	2.657	18.895	2.684	27.38

MUESTRA	FECHA	EDAD	FECHA	DIÁMETRO	AREA	PESO	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	FABRICACIÓN	DÍAS	ROTURA	CM	CM2	KG	KN	MPA	Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba 1.3	13/12/2017	7	20/12/2017	10	78.54	2.656	18.89	2.41	24.58
Prueba 1.3	13/12/2017	7	20/12/2017	10	78.54	2.614	18.147	2.347	23.94
Prueba 1.3	13/12/2017	14	27/12/2017	10	78.54	2.867	23.087	2.874	29.31
Prueba 1.3	13/12/2017	14	27/12/2017	10	78.54	2.9	24.584	2.987	30.47
Prueba 1.3	13/12/2017	28	10/1/2018	10	78.54	2.76	29.554	3.763	38.38
Prueba 1.3	13/12/2017	28	10/1/2018	10	78.54	2.759	28.547	3.654	37.27
Prueba 1.3	13/12/2017	77	28/2/2018	10	78.54	2.687	42.458	5.012	51.12
Prueba 1.3	13/12/2017	77	28/2/2018	10	78.54	2.598	43.584	5.452	55.61

MUESTRA	FECHA	EDAD	FECHA	AREA	ALTURA	PESO	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	FABRICACIÓN	DÍAS	ROTURA	CM2	CM	KG	KN	MPA	Kg/cm <sup>2</sup>
Cubo 2.3	15/12/2017	7	22/12/2017	25	5	0.21	19.24	7.696	78.5
Cubo 2.3	15/12/2017	7	22/12/2017	25	5	0.215	19.832	7.933	80.92
Cubo 2.3	15/12/2017	14	29/12/2017	25	5	0.182	27.231	10.893	111.11
Cubo 2.3	15/12/2017	14	29/12/2017	25	5	0.186	31.899	12.76	130.15
Cubo 2.3	15/12/2017	28	12/1/2018	25	5	0.214	35.906	14.362	146.49
Cubo 2.3	15/12/2017	28	12/1/2018	25	5	0.213	36.785	14.854	151.51
Cubo 2.3	15/12/2017	75	28/2/2018	25	5	0.215	44.24	17.696	180.5
Cubo 2.3	15/12/2017	75	28/2/2018	25	5	0.231	46.587	18.245	186.1

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS RELLENOS FLUIDOS

RESUMEN

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL  
UBICACIÓN: LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
NORMA: ASTM D 4832

ROTURAS: DOSIFICACIÓN 1

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO CM	AREA CM2	PESO KG	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z.1	17/11/2017	28	15/12/2017	10	78.54	3.035	9.791	1.247	12.72
Prueba Z.1	17/11/2017	28	15/12/2017	10	78.54	3.045	9.647	1.198	12.22
Prueba X.1	29/11/2017	28	27/12/2017	10	78.54	2.774	12.955	1.65	16.83
Prueba X.1	29/11/2017	28	27/12/2017	10	78.54	2.924	16.029	2.041	20.82
Prueba 1.1	24/11/2017	28	22/12/2017	10	78.54	2.749	11.02	1.403	14.31
Prueba 1.1	24/11/2017	28	22/12/2017	10	78.54	2.655	11.566	1.473	15.02
Prueba 2.1	28/11/2017	28	26/12/2017	10	78.54	2.175	11.124	1.025	10.46
Prueba 2.1	28/11/2017	28	26/12/2017	10	78.54	2.173	11.547	1.046	10.67

ROTURAS: DOSIFICACIÓN 2

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO CM	AREA CM2	PESO KG	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z.2	17/11/2017	28	15/12/2017	10	78.54	3.091	11.675	1.511	15.41
Prueba Z.2	17/11/2017	28	15/12/2017	10	78.54	3.085	11.544	1.475	15.05
Prueba X.2	22/11/2017	28	20/12/2017	10	78.54	2.76	8.903	1.134	11.57
Prueba X.2	22/11/2017	28	20/12/2017	10	78.54	2.758	8.502	1.114	11.36
Prueba 1.2	4/12/2017	28	1/1/2018	10	78.54	2.725	22.086	2.812	28.68
Prueba 1.2	4/12/2017	28	1/1/2018	10	78.54	2.723	23.11	2.942	30.01
Prueba 2.2	6/12/2017	28	3/1/2018	10	78.54	2.585	82.65	10.523	107.33
Prueba 2.2	6/12/2017	28	3/1/2018	10	78.54	2.48	75.569	9.622	98.14

ROTURAS: DOSIFICACIÓN 3

MUESTRA	FECHA FABRICACIÓN	EDAD DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO CM	AREA CM2	PESO KG	CARGA KN	RESISTENCIA MPA	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
Prueba Z.3	14/12/2017	28	11/1/2018	10	78.54	3.192	6.5	0.83	8.47
Prueba Z.3	14/12/2017	28	11/1/2018	10	78.54	3.201	6.611	0.841	8.58
Prueba X.3	14/12/2017	28	11/1/2018	10	78.54	2.28	15.164	1.931	19.7
Prueba X.3	14/12/2017	28	11/1/2018	10	78.54	2.274	14.875	1.874	19.11
Prueba 1.3	13/12/2017	28	10/1/2018	10	78.54	2.76	29.554	3.763	38.38
Prueba 1.3	13/12/2017	28	10/1/2018	10	78.54	2.759	28.547	3.654	37.27
Cubo 2.3	15/12/2017	28	12/1/2018	-	-	0.214	35.906	14.362	146.49
Cubo 2.3	15/12/2017	28	12/1/2018	-	-	0.213	36.785	14.854	151.51

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

RESULTADOS DE DE CBR EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

FECHA: DICIEMBRE 2017

UBICACIÓN: LABORATORIO DE ENS.

EL CBR LO CALCULAMOS MEDIANETE LA ECUACIÓN 2.1

$$\text{CBR} = 2.377 f_c + 30.25 \quad (\text{Ecuación: 2.1})$$

DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN	PRUEBA	VALOR DE FÓRMULA	RESISTENCIA PROMEDIO kg/cm <sup>2</sup>	VALOR DE FÓRMULA	CBR %
CBR	1	Z1	2.377	12.47	30.25	59.89
CBR	1	X1	2.377	18.83	30.25	75.00
CBR	1	P1.1	2.377	14.67	30.25	65.11
CBR	1	P2.1	2.377	10.57	30.25	55.36
CBR	2	Z2	2.377	15.23	30.25	66.45
CBR	2	X2	2.377	11.47	30.25	57.50
CBR	2	P1.2	2.377	29.35	30.25	100.00
CBR	2	P2.2	2.377	102.74	30.25	274.45
CBR	3	Z3	2.377	8.53	30.25	50.51
CBR	3	X3	2.377	19.41	30.25	76.38
CBR	3	P1.3	2.377	37.83	30.25	120.16
CBR	3	P2.3	2.377	149	30.25	384.42

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL**

**RESULTADOS DE DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO**

**PROYECTO:** TRABAJO DE TITULACIÓN DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

**FECHA:** ENERO 2018

**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

**DENSIDAD EN ESTADO ENDURECIDO DE LOS RELLENOS FLUIDOS**

DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN	PRUEBA	PROBETA	ALTURA	ÁREA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD	DENSIDAD
				cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	gr	gr/cm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Densidad en estado endurecido	1.00	Z1	1.00	20.00	78.54	1570.80	3035.00	1.94	1940.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	3045.00		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>3040.00</b>		
Densidad en estado endurecido	1.00	X1	1.00	20.00	78.54	1570.80	2 774.000	1.81	1810.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	2 924.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>2849.00</b>		
Densidad en estado endurecido	1.00	P1.1	1.00	20.00	78.54	1570.80	2 749.000	1.72	1720.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	2 655.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>2702.00</b>		
Densidad en estado endurecido	1.00	P2.1	1.00	20.00	78.54	1570.80	2 175.000	1.38	1380.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	2 173.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>2174.00</b>		
Densidad en estado endurecido	2.00	Z2	1.00	20.00	78.54	1570.80	3091.00	1.97	1970.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	3085.00		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>3088.00</b>		
Densidad en estado endurecido	2.00	X2	1.00	20.00	78.54	1570.80	2 760.000	1.76	1760.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	2 758.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>2759.00</b>		
Densidad en estado endurecido	2.00	P1.2	1.00	20.00	78.54	1570.80	2 725.000	1.73	1730.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	2 723.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>2724.00</b>		
Densidad en estado endurecido	2.00	P2.2	1.00	20.00	78.54	1570.80	2 585.000	1.61	1610.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	2 480.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>2532.50</b>		
Densidad en estado endurecido	3.00	Z3	1.00	20.00	78.54	1570.80	3 192.00	2.03	2030.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	3 201.00		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>3196.50</b>		
Densidad en estado endurecido	3.00	X3	1.00	20.00	78.54	1570.80	2 280.000	1.45	1450.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	2 274.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>2277.00</b>		
Densidad en estado endurecido	3.00	P1.3	1.00	20.00	78.54	1570.80	2 760.000	1.76	1760.00
			2.00	20.00	78.54	1570.80	2 759.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>1570.80</b>	<b>2759.50</b>		
<b>CUBOS</b>									
Densidad en estado endurecido	3.00	P2.3	1.00	5.00	25.00	125.00	214.000	1.71	1708.00
			2.00	5.00	25.00	125.00	213.000		
			<b>PROMEDIO</b>			<b>125.00</b>	<b>213.50</b>		

ING. JONATHAN BLACIO REYES  
ELABORADO POR