



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DEL AGREGADO DE CONCRETO  
RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS  
EN UN CONCRETO CONVENCIONAL, TRUJILLO 2018

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Br. Rodrich Guevara, Sandra Romy  
Br. Silva Ocas, Julio Cesar

**Asesor:**

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo – Perú  
2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Sandra Romy Rodrich Guevara** y **Julio Cesar Silva Ocas**, denominada:

**INFLUENCIA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN UN CONCRETO CONVENCIONAL, TRUJILLO 2018**

---

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz  
**ASESOR**

---

PhD. Heberth Alexander Diestra Cruz  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina  
**JURADO**

---

Mg. Ing. Melving Luis Rivera Muñoz  
**JURADO**

## DEDICATORIA

A Dios por acompañarme en todo este trayecto, haberme dado la vida y permitirme alcanzar los objetivos y metas que tracé al inicio de mi carrera universitaria.

A mi padre Roberto Rodrich Mannucci por su paciencia y sabiduría impartida en toda mi carrera profesional, siempre dispuesto a resolver cualquier duda y motivándome a investigar más sobre diversos temas de interés mutuo.

A mi madre Marcelina del Pilar Guevara Zárate por su paciencia y dedicación en cada momento de dificultad, por ser quien me alegra y divierte en momentos de mucho estrés, ayudándome a no preocuparme por lo que pasará, sino a ocuparme del presente.

A mis hermanos quienes hicieron mis días más felices en una ciudad desconocida, por su compañía.

A los amigos que formé en la universidad, principalmente a ese grupo pintoresco que con sus palabras de aliento aportaron mucho en mi carrera profesional y en mi vida personal, haciendo que los momentos de estrés compartido sea sobrellevado con mayor facilidad.

A mi compañero de tesis quien me motivó y contribuyó con sus conocimientos en todo el trayecto.

***Sandra Romy Rodrich Guevara***

## DEDICATORIA

A mis padres Gilmer J. Silva Cholan y Carmen R. Ocas Cabrera por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi formación tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mis hermanas, Rosa Isabel y Alicia Janet, por estar conmigo y apoyarme siempre, las quiero mucho.

A mis amigos, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora seguimos siendo amigos.

A mis maestros por el tiempo y esfuerzo que dedicaron a compartir sus conocimientos, al Ing. Alberto Rubén Vásquez Días por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de esta investigación.

A mi compañera de tesis la cual fue una motivación y apoyo durante el proceso de este proyecto.

***Julio Cesar Silva Ocas***

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por permitirnos culminar con nuestros estudios universitarios con éxito, ya que su protección, sabiduría y misericordia estuvo siempre con nosotros a lo largo de este camino lleno de obstáculos y dificultades.

A nuestros padres, tíos, hermanos y amigos que depositaron toda su confianza, estando siempre presentes con la disposición de brindarnos su apoyo sin importar las circunstancias.

A nuestro asesor, el Ingeniero Alberto Rubén Vásquez Días, quien incentivó y facilitó la elaboración de esta investigación. Sus consejos, exigencias y orientación fueron un apoyo fundamental para la culminación de este trabajo.

A la Universidad Privada del Norte por brindarnos las facilidades para desarrollar esta investigación brindando sus instalaciones, tiempo y equipos.

A todos los que ayudaron directa e indirectamente en la realización de esta investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
1.1. Realidad problemática .....	16
1.2. Formulación del problema.....	21
1.3. Justificación.....	21
1.4. Limitaciones .....	23
1.5. Objetivos .....	24
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	24
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	24
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.1. Antecedentes .....	25
2.2. Bases teóricas.....	29
2.2.1. <i>CAPÍTULO I: CONCRETO</i> .....	29
2.2.2. <i>CAPÍTULO II: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO</i> .....	41
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>45</b>
3.1. Formulación de la Hipótesis .....	45
3.1.1. <i>Hipótesis General:</i> .....	45
3.1.2. <i>Hipótesis Específicas:</i> .....	45
3.2. Operacionalización de variables .....	46
<b>CAPÍTULO 4. DESARROLLO .....</b>	<b>48</b>
4.1. Evaluación de Propiedades de Agregados .....	50
4.2. Diseño de Mezcla.....	60
4.3. Ensayos del concreto.....	64

<b>CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>68</b>
5.1. Diseño de investigación .....	68
5.2. Unidad de estudio .....	68
5.3. Población .....	68
5.4. Muestra .....	68
5.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	71
5.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....	78
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
6.1. Caracterización de Agregados .....	82
6.2. Diseño de mezcla del concreto .....	85
6.3. Ensayos en concreto fresco .....	87
6.4. Ensayos en concreto endurecido .....	88
6.5. Análisis de costos de producción .....	91
<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>92</b>
7.1. Caracterización de los agregados .....	92
7.2. Ensayos en concreto fresco .....	94
7.2.1. <i>Asentamiento</i> .....	94
7.2.2. <i>Peso unitario</i> .....	95
7.3. Ensayos en concreto endurecido .....	100
7.3.1. <i>Resistencia a la Compresión</i> .....	100
7.3.2. <i>Succión Capilar</i> .....	111
7.3.3. <i>Análisis estadístico</i> .....	113
7.4. Análisis de costos de producción .....	114
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>115</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>119</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>121</b>
APÉNDICE N°1. Resultados de caracterización de materiales para el concreto .....	121
APÉNDICE N°2. Diseño de mezcla con el método ACI 211 .....	129
APÉNDICE N°3. Resultados de ensayos del concreto en estado fresco y endurecido.....	135
APÉNDICE N°4. Análisis de costos del concreto convencional .....	172
APÉNDICE N°5. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto .....	177
<b>ANEXOS .....</b>	<b>200</b>
ANEXO N°1. Certificado de ensayos de laboratorio.....	200
ANEXO N°2. Fichas técnicas de materiales.....	201
ANEXO N°3. Panel fotográfico.....	205
ANEXO N°4. Normas utilizadas en el procedimiento experimental.....	216
ANEXO N°5. Constancia de Ferretería “Decas” .....	227

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Valores de asentamientos recomendada según el tipo de obra y condiciones de colocación. ....	30
<b>Tabla N° 2:</b> Asentamientos recomendados para diversos tipos de obra.....	31
<b>Tabla N° 3:</b> Forma de Agregados .....	37
<b>Tabla N° 4:</b> $f'_{cr}$ aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación standard. ....	40
<b>Tabla N° 5:</b> Propiedades del agregado natural y agregado reciclado.....	42
<b>Tabla N° 6:</b> Hipótesis General .....	45
<b>Tabla N° 7:</b> Hipótesis Específicas para resistencia a compresión.....	45
<b>Tabla N° 8:</b> Hipótesis Específicas para Succión capilar.....	46
<b>Tabla N° 9:</b> Operacionalización de variables.....	47
<b>Tabla N° 10:</b> Coordenadas del punto de compra de materiales.....	48
<b>Tabla N° 11:</b> Coordenadas de extracción del agregado de concreto reciclado.....	49
<b>Tabla N° 12:</b> Huso granulométrico del Agregado Fino.....	50
<b>Tabla N° 13:</b> Huso Granulométrico del Agregado Grueso .....	51
<b>Tabla N° 14:</b> Formato de granulometría de los agregados .....	52
<b>Tabla N° 15:</b> Formato de Humedad de los Agregados .....	53
<b>Tabla N° 16:</b> Formato de Peso Específico del Agregado Grueso y el de Concreto Reciclado .....	54
<b>Tabla N° 17:</b> Formato de Peso Específico del Agregado Fino .....	55
<b>Tabla N° 18:</b> Capacidad del molde.....	55
<b>Tabla N° 19:</b> Requisitos para los recipientes de medida.....	56
<b>Tabla N° 20:</b> Formato de Peso Unitario Seco Suelto y Compacto.....	56
<b>Tabla N° 21:</b> Formato de contenido de vacíos.....	57
<b>Tabla N° 22:</b> Formato de contenido de finos .....	58
<b>Tabla N° 23:</b> Número de esferas por gradación .....	58
<b>Tabla N° 24:</b> Gradación de las muestras.....	59
<b>Tabla N° 25:</b> Formato de Resistencia a la abrasión.....	59
<b>Tabla N° 26:</b> Formato de durabilidad de sulfatos de los agregados. ....	60
<b>Tabla N° 27:</b> Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño de agregado y contenido de aire. ....	60
<b>Tabla N° 28:</b> Relación Agua/Cemento vs $f'_{c}$ .....	61
<b>Tabla N° 29:</b> Volumen de agregado grueso compactado en seco por metro cúbico de concreto.....	61
<b>Tabla N° 30:</b> Formato de diseño de mezcla final. ....	62
<b>Tabla N° 31:</b> Formato de diseño final para probetas de 4"x8".....	64
<b>Tabla N° 32:</b> Formato de asentamiento del concreto fresco .....	64
<b>Tabla N° 33:</b> Formato de temperatura del concreto fresco.....	65
<b>Tabla N° 34:</b> Volumen del medidor según el tamaño máximo nominal del agregado (mm) .....	65
<b>Tabla N° 35:</b> Formato de Peso Unitario Seco Suelto y Compacto.....	66
<b>Tabla N° 36:</b> Formato de resistencia a compresión .....	66
<b>Tabla N° 37:</b> Formato de capacidad de succión capilar.....	67
<b>Tabla N° 38:</b> Formato de la velocidad de succión capilar .....	67
<b>Tabla N° 39:</b> Esquema de diseño cuasi experimental.....	68
<b>Tabla N° 40:</b> Población muestral.....	70
<b>Tabla N° 41:</b> Matriz de Diseño. ....	71
<b>Tabla N° 42:</b> Secuencia experimental.....	72
<b>Tabla N° 43:</b> Registro promedio de ensayos de caracterización del agregado fino. ....	82
<b>Tabla N° 44:</b> Registro promedio de ensayos de caracterización del agregado grueso. ....	83
<b>Tabla N° 45:</b> Registro promedio de ensayos de caracterización del agregado reciclado. ....	84
<b>Tabla N° 46:</b> Datos de diseño de mezcla para 1m <sup>3</sup> . ....	85
<b>Tabla N° 47:</b> Datos de diseño de mezcla para elaboración de probetas. ....	86
<b>Tabla N° 48:</b> Resultados del ensayo de asentamiento. ....	87
<b>Tabla N° 49:</b> Resultados del ensayo de temperatura.....	87
<b>Tabla N° 50:</b> Resultados promedio del ensayo de peso unitario. ....	88
<b>Tabla N° 51:</b> Resultados promedio del ensayo de resistencia a compresión.....	88
<b>Tabla N° 52:</b> Resultados promedio de la capacidad de succión capilar $Ra/c = 0.55$ .....	89
<b>Tabla N° 53:</b> Resultados promedio de la capacidad de succión capilar $Ra/c = 0.65$ y $Ra/c = 0.70$ .....	90
<b>Tabla N° 54:</b> Resultados promedio de la velocidad de succión capilar.....	91
<b>Tabla N° 55:</b> Resultados de los costos de producción.....	91
<b>Tabla N° 56:</b> Resultados de granulometría del agregado fino.....	121
<b>Tabla N° 57:</b> Resultados de granulometría del agregado grueso.....	122
<b>Tabla N° 58:</b> Resultados de granulometría del agregado de concreto reciclado.....	123

<b>Tabla N° 59:</b> Resultados de contenido de humedad de los agregados .....	124
<b>Tabla N° 60:</b> Resultados de peso unitario de los agregados.....	124
<b>Tabla N° 61:</b> Resultados de cantidad de finos de los agregados .....	125
<b>Tabla N° 62:</b> Resultados de peso específico del agregado fino .....	125
<b>Tabla N° 63:</b> Análisis estadístico del peso específico del agregado fino .....	125
<b>Tabla N° 64:</b> Resultados de peso específico del agregado grueso y el agregado de concreto reciclado .....	126
<b>Tabla N° 65:</b> Análisis estadístico del peso específico del agregado grueso el agregado de concreto reciclado .....	127
<b>Tabla N° 66:</b> Resultados de abrasión del agregado grueso y el agregado de concreto reciclado .....	127
<b>Tabla N° 67:</b> Resultados de durabilidad a los sulfatos del agregado de concreto reciclado.....	127
<b>Tabla N° 68:</b> Resultados de contenido de vacíos de los agregados.....	128
<b>Tabla N° 69:</b> Diseño de mezcla para 1m <sup>3</sup> de concreto, Ra/c = 0.55.....	129
<b>Tabla N° 70:</b> Diseño de mezcla para elaboración de probetas, Ra/c = 0.55.....	130
<b>Tabla N° 71:</b> Diseño de mezcla para 1m <sup>3</sup> de concreto, Ra/c = 0.65.....	131
<b>Tabla N° 72:</b> Diseño de mezcla para elaboración de probetas, Ra/c = 0.65.....	132
<b>Tabla N° 73:</b> Diseño de mezcla para 1m <sup>3</sup> de concreto, Ra/c = 0.70.....	133
<b>Tabla N° 74:</b> Diseño de mezcla para elaboración de probetas, Ra/c = 0.70.....	134
<b>Tabla N° 75:</b> Resultados de ensayo de temperatura .....	135
<b>Tabla N° 76:</b> Resultados de ensayo de asentamiento .....	135
<b>Tabla N° 77:</b> Resultados de ensayo de peso unitario, Ra/c = 0.55 .....	136
<b>Tabla N° 78:</b> Resultados de ensayo de peso unitario, Ra/c = 0.65 .....	137
<b>Tabla N° 79:</b> Resultados de ensayo de peso unitario, Ra/c = 0.70 .....	138
<b>Tabla N° 80:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 3 días, Ra/c = 0.55.....	139
<b>Tabla N° 81:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 7 días, Ra/c = 0.55.....	140
<b>Tabla N° 82:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 28 días, Ra/c = 0.55.....	141
<b>Tabla N° 83:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 3 días, Ra/c = 0.65.....	142
<b>Tabla N° 84:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 7 días, Ra/c = 0.65.....	143
<b>Tabla N° 85:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 28 días, Ra/c = 0.65.....	144
<b>Tabla N° 86:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 3 días, Ra/c = 0.70.....	145
<b>Tabla N° 87:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 7 días, Ra/c = 0.70.....	146
<b>Tabla N° 88:</b> Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 28 días, Ra/c = 0.70.....	147
<b>Tabla N° 89:</b> Incremento de masas para el ensayo de succión capilar Ra/c = 0.55 Muestra N°1 .....	148
<b>Tabla N° 90:</b> Capacidad de succión capilar Ra/c = 0.55 Muestra N°1 .....	148
<b>Tabla N° 91:</b> Incremento de masas para el ensayo de succión capilar Ra/c = 0.65 Muestra N°1 .....	151
<b>Tabla N° 92:</b> Capacidad de succión capilar Ra/c = 0.65 Muestra N°1 .....	152
<b>Tabla N° 93:</b> Incremento de masas para el ensayo de succión capilar Ra/c = 0.70 Muestra N°1 .....	155
<b>Tabla N° 94:</b> Capacidad de succión capilar Ra/c = 0.70 Muestra N°1.....	155
<b>Tabla N° 95:</b> Velocidad de succión capilar Muestra N°1.....	158
<b>Tabla N° 96:</b> Incremento de masas para el ensayo de succión capilar Ra/c = 0.55 Muestra N°2 .....	159
<b>Tabla N° 97:</b> Capacidad de succión capilar Ra/c = 0.55 Muestra N°2.....	159
<b>Tabla N° 98:</b> Incremento de masas para el ensayo de succión capilar Ra/c = 0.65 Muestra N°2 .....	162
<b>Tabla N° 99:</b> Capacidad de succión capilar Ra/c = 0.65 Muestra N°2.....	163
<b>Tabla N° 100:</b> Incremento de masas para el ensayo de succión capilar Ra/c = 0.70 Muestra N°2 .....	166
<b>Tabla N° 101:</b> Capacidad de succión capilar Ra/c = 0.70 Muestra N°2.....	166
<b>Tabla N° 102:</b> Velocidad de succión capilar Muestra N°2 .....	169
<b>Tabla N° 103:</b> Velocidad promedio de succión capilar.....	169
<b>Tabla N° 104:</b> Capacidad promedio de succión capilar .....	170
<b>Tabla N° 105:</b> Desviación estándar de la velocidad de succión capilar.....	171
<b>Tabla N° 106:</b> Costo Producción de Agregado Reciclado.....	172
<b>Tabla N° 107:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 0% de AR.....	172
<b>Tabla N° 108:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 15% de AR.....	172
<b>Tabla N° 109:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 30% de AR.....	172
<b>Tabla N° 110:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 45% de AR.....	173
<b>Tabla N° 111:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 60% de AR.....	173
<b>Tabla N° 112:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 0% de AR.....	173
<b>Tabla N° 113:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 15% de AR.....	174
<b>Tabla N° 114:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 30% de AR.....	174
<b>Tabla N° 115:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 45% de AR.....	174
<b>Tabla N° 116:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 60% de AR.....	175
<b>Tabla N° 117:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 0% de AR.....	175
<b>Tabla N° 118:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 15% de AR.....	175
<b>Tabla N° 119:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 30% de AR.....	176

<b>Tabla N° 120:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 45% de AR .....	176
<b>Tabla N° 121:</b> Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 60% de AR .....	176
<b>Tabla N° 122:</b> Prueba de Normalidad del Peso Unitario .....	178
<b>Tabla N° 123:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas del Peso Unitario .....	178
<b>Tabla N° 124:</b> Estadísticas de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.55 .....	179
<b>Tabla N° 125:</b> Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.55 .....	179
<b>Tabla N° 126:</b> Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.55 .....	179
<b>Tabla N° 127:</b> Estadísticas de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.65 .....	180
<b>Tabla N° 128:</b> Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.65 .....	180
<b>Tabla N° 129:</b> Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.65 .....	180
<b>Tabla N° 130:</b> Estadísticas de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.70 .....	181
<b>Tabla N° 131:</b> Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.70 .....	181
<b>Tabla N° 132:</b> Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario Ra/c = 0.70 .....	181
<b>Tabla N° 133:</b> Parámetro de Peso Unitario .....	182
<b>Tabla N° 134:</b> Estadísticos descriptivos de Peso Unitario .....	182
<b>Tabla N° 135:</b> Contrastación de hipótesis parámetro de peso unitario .....	183
<b>Tabla N° 136:</b> Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión a 3 días .....	184
<b>Tabla N° 137:</b> Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión a 7 días .....	185
<b>Tabla N° 138:</b> Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión a 28 días .....	185
<b>Tabla N° 139:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Resistencia a Compresión a 3 días .....	185
<b>Tabla N° 140:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Resistencia a Compresión a 7 días .....	185
<b>Tabla N° 141:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Resistencia a Compresión a 28 días .....	186
<b>Tabla N° 142:</b> Estadísticas de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.55 .....	186
<b>Tabla N° 143:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.55 .....	186
<b>Tabla N° 144:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.55 .....	187
<b>Tabla N° 145:</b> Estadísticas de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.65 .....	187
<b>Tabla N° 146:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.65 .....	187
<b>Tabla N° 147:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.65 .....	188
<b>Tabla N° 148:</b> Estadísticas de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.70 .....	188
<b>Tabla N° 149:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.70 .....	188
<b>Tabla N° 150:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días Ra/c = 0.70 .....	189
<b>Tabla N° 151:</b> Parámetro de ensayo de compresión a 3 días .....	190
<b>Tabla N° 152:</b> Parámetro de ensayo de compresión a 7 días .....	190
<b>Tabla N° 153:</b> Parámetro de ensayo de compresión a 28 días .....	191
<b>Tabla N° 154:</b> Contrastación de hipótesis parámetro de resistencia a compresión de 3 días .....	192
<b>Tabla N° 155:</b> Contrastación de hipótesis parámetro de resistencia a compresión de 7 días .....	192
<b>Tabla N° 156:</b> Contrastación de hipótesis parámetro de resistencia a compresión de 28 días .....	192
<b>Tabla N° 157:</b> Prueba de Normalidad de la Succión Capilar .....	193
<b>Tabla N° 158:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Succión Capilar .....	194
<b>Tabla N° 159:</b> Estadísticas de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.55 .....	194
<b>Tabla N° 160:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.55 .....	195
<b>Tabla N° 161:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.55 .....	195
<b>Tabla N° 162:</b> Estadísticas de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.65 .....	195
<b>Tabla N° 163:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.65 .....	196
<b>Tabla N° 164:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.65 .....	196
<b>Tabla N° 165:</b> Estadísticas de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.70 .....	196
<b>Tabla N° 166:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.70 .....	197
<b>Tabla N° 167:</b> Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.70 .....	197
<b>Tabla N° 168:</b> Parámetro de velocidad de succión capilar .....	198
<b>Tabla N° 169:</b> Contrastación de hipótesis parámetro de velocidad de succión capilar .....	198

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Aeropuerto de Denver .....	17
<b>Figura N° 2:</b> Valor Agregado Bruto Sector Construcción .....	19
<b>Figura N° 3:</b> Desmonte debajo de puente Moche/ reconstrucción Plaza de Armas .....	20
<b>Figura N° 4:</b> Agregados reciclados vendidos por Cemex .....	22
<b>Figura N° 5:</b> Vaciado de concreto .....	29
<b>Figura N° 6:</b> Segregación del concreto .....	32
<b>Figura N° 7:</b> Exudación del concreto .....	32
<b>Figura N° 8:</b> Contracción del concreto .....	33
<b>Figura N° 9:</b> Grafica Esfuerzo - Deformación .....	33
<b>Figura N° 10:</b> Resistencia a compresión del concreto .....	34
<b>Figura N° 11:</b> Efecto de la relación agua/cemento sobre la resistencia a compresión y resistencia a flexión a 28 días .....	40
<b>Figura N° 12:</b> Criterio del balance de volúmenes absolutos. ....	41
<b>Figura N° 13:</b> Ubicación de ferretería Decas. ....	48
<b>Figura N° 14:</b> Demolición de vereda, extracción de agregado de concreto reciclado. ....	49
<b>Figura N° 15:</b> Ubicación del punto de extracción del agregado de concreto reciclado. ....	49
<b>Figura N° 16:</b> Curva granulométrica del agregado fino. ....	82
<b>Figura N° 17:</b> Curva granulométrica del agregado grueso. ....	83
<b>Figura N° 18:</b> Curva granulométrica del agregado de concreto reciclado. ....	84
<b>Figura N° 19:</b> Gráfico de ensayo de asentamiento .....	95
<b>Figura N° 20:</b> Gráfico de ensayo de peso unitario Ra/c = 0.55 .....	96
<b>Figura N° 21:</b> Gráfico de ensayo de peso unitario Ra/c = 0.65 .....	97
<b>Figura N° 22:</b> Gráfico de ensayo de peso unitario Ra/c = 0.70 .....	98
<b>Figura N° 23:</b> Gráfico de ensayo de peso unitario. ....	99
<b>Figura N° 24:</b> Resultados de Resistencia a Compresión R a/c = 0.55 .....	101
<b>Figura N° 25:</b> Resultados de Resistencia a Compresión R a/c = 0.65 .....	103
<b>Figura N° 26:</b> Resultados de Resistencia a Compresión R a/c = 0.70 .....	104
<b>Figura N° 27:</b> Resultados de Resistencia a Compresión 0% de Agregado Reciclado .....	106
<b>Figura N° 28:</b> Resultados de Resistencia a Compresión 15% de Agregado Reciclado .....	107
<b>Figura N° 29:</b> Resultados de Resistencia a Compresión 30% de Agregado Reciclado .....	108
<b>Figura N° 30:</b> Resultados de Resistencia a Compresión 45% de Agregado Reciclado .....	109
<b>Figura N° 31:</b> Resultados de Resistencia a Compresión 60% de Agregado Reciclado .....	110
<b>Figura N° 32:</b> Resumen Resistencia a Compresión a 28 días .....	111
<b>Figura N° 33:</b> Gráfico de ensayo de velocidad de succión capilar .....	113
<b>Figura N° 34:</b> Resultados de costo de concreto por M <sup>3</sup> .....	114
<b>Figura N° 35:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 0% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	149
<b>Figura N° 36:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 15% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	149
<b>Figura N° 37:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 30% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	150
<b>Figura N° 38:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 45% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	150
<b>Figura N° 39:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 60% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	151
<b>Figura N° 40:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 0% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	152
<b>Figura N° 41:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 15% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	153
<b>Figura N° 42:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 30% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	153
<b>Figura N° 43:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 45% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	154
<b>Figura N° 44:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 60% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	154
<b>Figura N° 45:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.70, 0% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	156
<b>Figura N° 46:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.70, 15% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	156
<b>Figura N° 47:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.70, 30% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	157
<b>Figura N° 48:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.70, 45% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	157
<b>Figura N° 49:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.70, 60% de Agregado Reciclado Muestra N°1 .....	158
<b>Figura N° 50:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 0% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	160
<b>Figura N° 51:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 15% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	160
<b>Figura N° 52:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 30% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	161
<b>Figura N° 53:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 45% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	161
<b>Figura N° 54:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.55, 60% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	162
<b>Figura N° 55:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 0% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	163
<b>Figura N° 56:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 15% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	164
<b>Figura N° 57:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 30% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	164
<b>Figura N° 58:</b> Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 45% de Agregado Reciclado Muestra N°2 .....	165

<b>Figura N° 59:</b> Velocidad succión capilar $Ra/c = 0.65$ , 60% de Agregado Reciclado Muestra N°2.....	165
<b>Figura N° 60:</b> Velocidad succión capilar $Ra/c = 0.70$ , 0% de Agregado Reciclado Muestra N°2.....	167
<b>Figura N° 61:</b> Velocidad succión capilar $Ra/c = 0.70$ , 15% de Agregado Reciclado Muestra N°2.....	167
<b>Figura N° 62:</b> Velocidad succión capilar $Ra/c = 0.70$ , 30% de Agregado Reciclado Muestra N°2.....	168
<b>Figura N° 63:</b> Velocidad succión capilar $Ra/c = 0.70$ , 45% de Agregado Reciclado Muestra N°2.....	168
<b>Figura N° 64:</b> Velocidad succión capilar $Ra/c = 0.70$ , 60% de Agregado Reciclado Muestra N°2.....	169
<b>Figura N° 65:</b> Demolición de vereda para obtener el agregado reciclado. ....	205
<b>Figura N° 66:</b> Agregados y cemento utilizados en la investigación. ....	205
<b>Figura N° 67:</b> Agregado reciclado para granulometría.....	206
<b>Figura N° 68:</b> Tamizado manual de agregado.....	206
<b>Figura N° 69:</b> Peso unitario compactado de agregado grueso.....	207
<b>Figura N° 70:</b> Peso unitario suelto de agregado fino. ....	207
<b>Figura N° 71:</b> Peso específico de agregado reciclado. ....	208
<b>Figura N° 72:</b> Peso específico de agregado fino. ....	208
<b>Figura N° 73:</b> Ensayo de peso unitario. ....	209
<b>Figura N° 74:</b> Ensayo de asentamiento .....	209
<b>Figura N° 75:</b> Control de temperatura. ....	210
<b>Figura N° 76:</b> Preparación de mezcla en trompo.....	210
<b>Figura N° 77:</b> Elaboración de probetas. ....	211
<b>Figura N° 78:</b> Curado de probetas. ....	211
<b>Figura N° 79:</b> Ensayo de resistencia a la compresión. ....	212
<b>Figura N° 80:</b> Ensayo de resistencia a la compresión. ....	212
<b>Figura N° 81:</b> Ensayo de resistencia a la compresión. ....	213
<b>Figura N° 82:</b> Probeta después de ensayo de resistencia. ....	213
<b>Figura N° 83:</b> Corte de probetas para ensayo de succión capilar. ....	214
<b>Figura N° 84:</b> Impermeabilización de probetas. ....	214
<b>Figura N° 85:</b> Ensayo de succión capilar. ....	215
<b>Figura N° 86:</b> Pesaje de probeta para ensayo de succión capilar.....	215

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación N° 1: Esfericidad del Agregado</i> .....	37
<i>Ecuación N° 2: Esfericidad del agregado</i> .....	43
<i>Ecuación N° 3: Módulo de Finura</i> .....	52
<i>Ecuación N° 4: Contenido de Humedad</i> .....	52
<i>Ecuación N° 5: Peso Específico de Masa</i> .....	53
<i>Ecuación N° 6: Peso Específico S.S.S.</i> .....	53
<i>Ecuación N° 7: Peso Específico Aparente</i> .....	53
<i>Ecuación N° 8: Absorción</i> .....	53
<i>Ecuación N° 9: Peso Específico de Masa</i> .....	54
<i>Ecuación N° 10: Peso Específico S.S.S.</i> .....	54
<i>Ecuación N° 11: Peso Específico Aparente</i> .....	54
<i>Ecuación N° 12: Absorción</i> .....	54
<i>Ecuación N° 13: Peso unitario del agregado</i> .....	56
<i>Ecuación N° 14: Contenido de Finos</i> .....	57
<i>Ecuación N° 15: Contenido de Finos</i> .....	57
<i>Ecuación N° 16: Porcentaje de desgaste</i> .....	58
<i>Ecuación N° 17: Durabilidad al sulfato (% de pérdida)</i> .....	59
<i>Ecuación N° 18: Corrección Durabilidad al sulfato (% de pérdida)</i> .....	59
<i>Ecuación N° 19: Cantidad de Agregado</i> .....	62
<i>Ecuación N° 20: Volumen de Agregado</i> .....	62
<i>Ecuación N° 21: Volumen de Agregado Fino</i> .....	62
<i>Ecuación N° 22: Corrección de agua por humedad</i> .....	62
<i>Ecuación N° 23: Corrección de agua por absorción</i> .....	62
<i>Ecuación N° 24: Peso unitario del agregado</i> .....	65
<i>Ecuación N° 25: Resistencia a compresión</i> .....	66
<i>Ecuación N° 26: Número de muestras</i> .....	69
<i>Ecuación N° 27: Número de ensayos</i> .....	69
<i>Ecuación N° 28: Promedio o media aritmética de datos obtenidos</i> .....	78
<i>Ecuación N° 29: Desviación estándar</i> .....	78
<i>Ecuación N° 30: suma de cuadrados para el factor A</i> .....	80
<i>Ecuación N° 31: suma de cuadrados para el factor B</i> .....	80
<i>Ecuación N° 32: suma de cuadrados subtotales</i> .....	80
<i>Ecuación N° 33: suma de cuadrados de la interacción de los factores (AxB)</i> .....	80
<i>Ecuación N° 34: suma de cuadrados totales</i> .....	80
<i>Ecuación N° 35: suma de cuadrados del error</i> .....	80
<i>Ecuación N° 36: media de cuadrados para el factor A</i> .....	80
<i>Ecuación N° 37: media de cuadrados para el factor B</i> .....	81
<i>Ecuación N° 38: media de cuadrados de la interacción de los factores (AxB)</i> .....	81
<i>Ecuación N° 39: media de cuadrados del error</i> .....	81
<i>Ecuación N° 40: F<sub>0</sub> del factor A</i> .....	81
<i>Ecuación N° 41: F<sub>0</sub> del factor B</i> .....	81
<i>Ecuación N° 42: F<sub>0</sub> del factor AxB</i> .....	81

## RESUMEN

El concreto puede ser recuperado, triturado y reutilizado como agregado en nuevos proyectos, para así contribuir con la construcción sostenible, reduciendo los impactos ambientales y abriendo nuevas alternativas de negocio, por lo cual en esta investigación se reemplazó al agregado grueso de un concreto convencional por agregado de concreto reciclado procedente de la demolición de una vereda en la ciudad de Trujillo, en diferentes cantidades (15%, 30% , 45% y 60% en peso respecto al agregado grueso), variando las relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) diseñando las mezclas de acuerdo a la norma ACI 211.

Se realizaron ensayos de caracterización a los agregados naturales y agregado reciclado; al concreto en estado fresco se le evaluó el asentamiento, temperatura y peso unitario, para los ensayos en estado endurecido se elaboraron un total de 270 probetas cilíndricas de 4" x 8", evaluando la resistencia a compresión promedio a 3, 7 y 28 días de curado. Así mismo se elaboraron 30 probetas de 4"x8" para determinar la succión capilar promedio a 28 días de curado.

En base a los resultados obtenidos se determinó que la mejor opción para la fabricación de concreto estructural es utilizar una  $R a/c = 0.65$  con 30% de agregado de concreto reciclado ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia promedio de 225.86 kgf/cm<sup>2</sup>, una velocidad de succión capilar promedio de 14.305 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) y su costo de producción es de S/. 208.28 nuevos soles y para la fabricación de concreto no estructural se recomienda utilizar una  $R a/c = 0.70$  con 15% de agregado de concreto reciclado ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia promedio de 190.87 kgf/cm<sup>2</sup>, una velocidad de succión capilar promedio de 16.971 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) y su costo de producción es de S/. 198.26 nuevos soles.

## ABSTRACT

The concrete can be recovered, crushed and reused as an addition in new projects, in order to contribute to sustainable construction, reducing environmental impacts and opening new business alternatives, which is why in this investigation the coarse aggregate of a conventional concrete was replaced by aggregate of recycled concrete from the demolition of a road in the city of Trujillo, in different quantities (15%, 30%, 45% and 60% in weight with respect to the coarse aggregate), varying water / cement ratios (0.55, 0.65 and 0.70) designing the mixtures according to the ACI 211 standard.

Characterization tests were carried out on natural aggregates and recycled aggregates; to the fresh concrete was evaluated the settlement, temperature and unit weight, for the tests in hardened state a total of 270 cylindrical test tubes of 4" x 8" were prepared, evaluating the average compressive strength at 3, 7 and 28 days of curing. Likewise, 30 samples of 4"x 8" were prepared to determine the average capillary suction at 28 days of curing.

Based on the results obtained, it was determined that the best option for the manufacture of structural concrete is to use an R a/c = 0.65 with 30% of added recycled concrete since after 28 days of curing it reached an average resistance of 225.86 kgf/cm<sup>2</sup>, an average capillary suction speed of 14,305 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) and its production cost is S/. 208.28 PEN and for the manufacture of non-structural concrete it is recommended to use an R a/c = 0.70 with 15% of added recycled concrete since after 28 days of curing it reached an average resistance of 190.87 kgf/cm<sup>2</sup>, a speed of average capillary suction of 16,971 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) and its production cost is S/. 198.26 PEN.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la actualidad la industria de la construcción en el mundo es uno de los principales pilares para el desarrollo de un país, ya que gracias a este rubro se proporciona infraestructuras para el desarrollo nacional, y al mismo tiempo se brinda bienestar a la población con la construcción de viviendas y con empleos, según la Asociación Bancaria de Guatemala (2016), por cada trabajo en la construcción se generan dos trabajos más en el mismo sector o en otras partes de la economía relacionadas con el mismo. También es una de las que más consume los recursos naturales del planeta, tales como, los agregados que se utilizan para la elaboración de concretos, el cual lo podemos encontrar en todas partes. "El concreto es el segundo material más consumido después del agua y moldea nuestro entorno. Hogares, escuelas, hospitales, oficinas, vías y aceras, todo se hacen a partir de este. Es extremadamente perdurable y puede conservarse por cientos de años en muchas aplicaciones" (CSI, 2009).

Jordán y Viera (2014) nos dicen que anualmente se producen aproximadamente 11 billones de toneladas de concreto, para lo cual se emplea alrededor de 8 billones de toneladas de agregados naturales. Al mismo tiempo, esto origina grandes volúmenes de desechos, tanto durante la etapa de construcción como a partir de labores de demolición y reparación de estructuras y edificios, más de 900 millones de toneladas por año tan solo en Europa, Los Estados Unidos y Japón, y otro tanto desconocido en el resto del mundo. "Entonces, el alto consumo de materias primas, los intereses económicos, y las problemáticas resultantes de los severos impactos generados por la acumulación de esos desechos obligan a la búsqueda de usos alternativos en este campo" (Jordan y Viera, 2014, p. 1).

A modo de iniciativa para hacer del sector construcción una industria más sostenible y amigable con el planeta, diversas naciones han instaurado procesos especiales para el reciclaje del concreto. Ya que la generación de residuos actualmente requiere de una solución porque este se ha convertido en un gravísimo problema de contaminación ambiental, por lo cual en estos años se ha ido promoviendo investigaciones para el aprovechamiento de estos residuos (Umacon, 2017). "El concreto puede ser recuperado – el concreto puede ser triturado y reutilizado como agregado en nuevos proyectos" (CSI, 2009).

En países desarrollados como Holanda, Alemania, Bélgica, Japón, Australia en la actualidad se reutilizan más de la mitad de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) que estas producen. En la gran mayoría de estos países se están implementando normas y leyes para motivar a las personas e industrias a reciclar, existen innumerables edificaciones y estructuras que han sido construidas haciendo uso de agregados reciclados fortaleciendo así el uso de estos materiales en dichas naciones (Sumari, 2016).

El aeropuerto de Denver, Colorado (ver **Figura N° 1**), es uno de los más grandes del mundo para su remodelación fueron usados alrededor de 6,5 millones de toneladas de agregado reciclado resultante de la demolición de la antigua estructura, los agregados fueron utilizados como agregado para concreto y como sub-base en las vías de acceso (Asocreto, 2011) .

**Figura N° 1: Aeropuerto de Denver**



**Fuente:** Asocreto, 2011

Martinez & Mendoza (2005) nos dicen que en el país de México es una práctica común la sustitución de agregados naturales por RCD, ya que la disponibilidad de canteras con materiales pétreos con el paso de los años y construcciones se está haciendo cada vez más escasa.

El uso de concreto reciclado es una gran alternativa de reconstrucción en edificios en Haití, gracias a una investigación llevada a cabo por algunos ingenieros de Georgia Tech (USA) llegaron a la conclusión que una mezcla a base de escombros de concreto, obtenidos de las estructuras que colapsaron durante el catastrófico terremoto que allí se presentó en enero de 2010, junto con otra clase de materias primas podría ser de bastante uso para construir nuevos edificios en este país centroamericano. "El material alcanza estándares de resistencia similares a los utilizados en Estados Unidos, siendo además más económico y seguro que otras alternativas" (Piacente, 2011, p. 1).

En Perú se implementó la Ley N°27314, la cual lleva como nombre: "Ley General de Residuos Sólidos". En el decreto legislativo N°1065, que modifica la Ley N°27314 se establece una gestión y manejo de residuos sólidos de la construcción y demolición. Mientras que la norma NTP 400.050:2017 "Manejo de residuos de la actividad de la construcción", nos brinda las pautas para un apropiado manejo y control de los residuos provenientes de la actividad de

la construcción, estas normas y leyes en la actualidad solo están en papel, ya que en lo que concierne a la parte práctica no se ha recolectado información de la producción de residuos ni se tiene identificado los sitios donde terminan; que en la gran mayoría de casos son botaderos informales, y existe ausencia de empresas dedicadas al reciclaje de dichos materiales y proyectos donde se haya usado concreto reciclado (Sumari, 2016).

Bedoya y Dzul (2015), en la ciudad de Medellín (Colombia) en su investigación " El Concreto Con Agregados Reciclados Como Proyecto De Sostenibilidad Urbana", abordaron la elaboración de un concreto con agregados reciclados obtenidos de escombros de concreto y mampostería. Estudiando la resistencia a compresión a 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días de curado; velocidad de pulso ultrasónico y carbonatación; temas de costo en comparación con un concreto convencional y una pequeña reseña sobre las políticas de construcción sostenible. Obteniendo resultados con sustituciones de agregados naturales por agregado grueso y fino reciclado en porcentajes de 25%, 50% y 100% en peso muy aceptables, donde el concreto con 100% de sustitución de agregados naturales por reciclados alcanzó a los 91 días de curado un 84.05 % (23.02 MPa) de resistencia respecto a lo alcanzado por el concreto con 0% de sustitución (27.39 MPa), por lo cual concluyeron que se puede usar estos agregados para la elaboración de concretos estructurales y no estructurales de manera generalizada en la construcción en el vecino país de Colombia.

Chavez y Sandoval (2013), en su investigación "Influencia Del Porcentaje Y Tamaño De Concreto Reciclado Como Sustituyente Del Agregado Grueso Sobre Las Propiedades En Estado Fresco Y En Estado Endurecido De Un Concreto Plastificado", en la ciudad de Trujillo, evaluaron la trabajabilidad, peso unitario, absorción y resistencia a compresión de un concreto plastificado con Sika Plastiment HE 98. En esta investigación usaron porcentajes de 15%, 30%, 45% y 60% de agregado reciclado para tamaños nominales de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " con una relación agua cemento de 0.56 y un diseño de mezcla de 210 kgf/cm<sup>2</sup>; Sus resultados demuestran que se puede usar concreto reciclado en un porcentaje en peso en un rango de 15% a 30% y con un tamaño máximo nominal de  $\frac{1}{2}$ ", sin ser afectadas las propiedades en estado endurecido y fresco respecto a un concreto convencional.

Por otro lado Sumari (2016) dentro de su investigación " Estudio Del Concreto De Mediana Y Alta Resistencia Elaborado Con Residuos De Concreto Y Cemento Portland Tipo I" en la ciudad de Lima, con un asentamiento de 3"-4" y con relaciones agua cemento : 0.45, 0.50 y 0.55, con 100% de agregado fino y grueso reciclado, obtuvo unos resultados elevados en el ensayo de absorción al agregado reciclado, 639% para el agregado fino y 867% para el agregado grueso, por lo cual es necesario usar un plastificante para la elaboración de concreto a base de este agregado, mientras en el ensayo de resistencia a compresión obtuvo resultados muy aceptables, con una disminución de la resistencia a la compresión a los 28

días de curado de 2.7%, 7.3% y 9.7% respectivamente para cada relación agua/cemento. En esta investigación se recomienda que, para el uso de agregados reciclados, la fuente de donde se obtenga esta materia sea de buena calidad cumpliendo con los requerimientos mínimos establecidos en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) para agregados y tanto en el personal como en el equipo tengan un estricto control para el manejo de estos materiales.

En Perú Silva (2017) en su investigación " Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento y transformación de residuos de construcción en agregado de concreto", busca demostrar que es viable de forma técnica, económica y financiera la implementación de una planta de transformación de RCD en agregados reciclados, llegando a la conclusión que esta es una nueva oportunidad de negocio en el país, respaldada por el constante desarrollo del sector construcción. En cuanto a la viabilidad económica y financiera del proyecto queda demostrado al obtener un VAN mayor a cero (VANE de S/. 1'352,388.56 y VANF de S/. 1'406,162.45) y una tasa de retorno mayor al COK (TIRE de 41% y TIRF de 59%) y una razón beneficio/costo de 2.12. Por lo que no solo es rentable, sino que también amigable con el planeta.

Se necesitaría encontrar unos socios estratégicos y convenios con clientes potenciales o empresas reconocidas dentro del sector construcción, para facilitar estudios que corroboren la confiabilidad y funcionalidad del uso de agregados reciclados provenientes de RCD, para tener un sólido respaldo en su ingreso al mercado.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), durante el primer trimestre de 2018, el valor agregado bruto procedente del sector construcción, a precios constantes de 2007, tuvo un incremento de 5.1% con respecto al mismo periodo del año 2017, como se puede apreciar en la **Figura N° 2**, esto se debe al aumento en obras ejecutadas tales como viviendas, edificios, carreteras, calles y caminos y algunas otras construcciones tanto en el sector privado como público.

**Figura N° 2:** Valor Agregado Bruto Sector Construcción

**CONSTRUCCIÓN: VALOR AGREGADO BRUTO**  
(Variación porcentual del índice de volumen físico respecto al mismo periodo del año anterior)  
Valores a precios constantes de 2007

Actividad	2017/2016					2018/2017
	I Trim.	II Trim.	III Trim.	IV Trim.	Año	I Trim.
Construcción	-5,0	-2,7	6,2	9,1	2,2	5,1

**Fuente:** INEI, 2018

El llamado boom de la construcción se ha hecho notar en las diferentes ciudades del país, con el incremento de la construcción de obras privadas y públicas, dentro de las primeras tenemos obras residenciales tales como condominios y departamentos para vivienda; y la

ejecución de obras no residenciales como colegios, clínicas, oficinas, centros comerciales y otras obras de ingeniería civil de empresas privadas. Y en el sector público tenemos el incremento en infraestructura vial, infraestructuras agrícolas e infraestructuras en agua y saneamiento (INEI, 2018). Así como es notorio el proceso o término de cada estructura, también es perfectamente notorio la generación de residuos provenientes de estas actividades, del cual actualmente no se tiene cifras exactas.

En la **Figura N° 3** se aprecia los residuos provenientes de la remodelación de la Plaza de Armas de la ciudad de Trujillo, los cuales en una mala práctica fueron desechados debajo del puente del río Moche, haciendo de esta forma de eliminación de escombros un común denominador en esta ciudad.

**Figura N° 3:** Desmante debajo de puente Moche/ reconstrucción Plaza de Armas



**Fuente:** Industria, 2017

Los residuos provenientes de la construcción significan contaminación ambiental y pérdida de dinero para las empresas constructoras, por lo cual se propone el reciclado de estos escombros, ya que es una excelente solución al problema de exceso de material de desecho, que en la actualidad en la ciudad de Trujillo no tiene un adecuado control, ni un adecuado lugar para su acopio; sin olvidar la tendencia de mejora de la calidad del producto final (Jordán y Viera, 2014), ya que falta un control en la demolición, el cual puede contaminar el agregado reciclado con vidrios, plásticos, cerámicos, los cuales generan mayores residuos e impurezas orgánicas en especial en el agregado de menor tamaño.

En la ciudad de Trujillo se ignora el uso de agregados reciclados para la elaboración de concreto nuevo, y en consecuencia de esto es importante empezar con el desarrollo de nuevas experiencias que apunten al uso de agregados reciclados de RCD.

Otro punto significativo a reflexionar es la disminución de extracción de materiales rocosos de los entornos naturales, reduciendo así el impacto ambiental y el acelerado agotamiento de las reservas naturales de los agregados derivados tanto de vertientes como de canteras,

agregando a esto la motivación que existe por la preservación y protección el medio ambiente de un inminente desequilibrio ecológico.

## 1.2. Formulación del problema

¿En qué medida influye el agregado de concreto reciclado sobre las propiedades mecánicas en un concreto convencional, Trujillo 2018?

## 1.3. Justificación

Como el material artificial más utilizado por la humanidad, el concreto constituye una porción considerable de los desechos del mundo. A pesar de su larga vida, los cambiantes requerimientos humanos implican que siempre habrá un tiempo limitado al uso. Son varias las definiciones que podemos encontrar del concepto de sostenibilidad, relacionado con los efectos que en un futuro pueden producir las actividades realizadas en el presente. Un desarrollo sostenible es aquel que responde a las necesidades de las generaciones contemporáneas sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras para suplir sus propias necesidades (Ordoñez, 2013).

Reciclar o recuperar el concreto de obras, es por ahora uno de los principales ejes que engloba el concepto de sostenibilidad, ya que este dejó de ser una buena práctica para convertirse en una exigencia que se desarrolla desde los organismos ambientales, los gobiernos y de los propios gremios que buscan satisfacer las necesidades de la sociedad ya que esto presenta dos grandes ventajas: la reducción del uso de nuevos agregados que se encuentran en estado virgen en las cuencas o canteras, como los costos ambientales del tema de explotación y transporte y asociados, otro punto muy importante es que esto reduce la eliminación innecesaria de algunos materiales valiosos que se pueden recuperar y reutilizar, como en este caso los agregados pétreos. Y ya que actualmente en su totalidad los residuos de construcción y demolición no tienen un control adecuado de su tratamiento y su acopio en nuestra ciudad.

Una de las principales y más significativas organizaciones que lidera la transformación de códigos de construcción a nivel mundial es el consejo de construcción sostenible de los estados unidos (USGBC), el cual es el responsable del programa de liderazgo de energía y certificación ambiental (LEED), la cual es una herramienta que busca la calidad ambiental de los proyectos de construcción, analizando los impactos ambientales que se producen en las diferentes etapas de los proyectos (Bejarano, 2014). La utilización de materiales reciclados tomo importancia gracias a que el USGBC lanzo la certificación LEED, el cual tiene como uno de sus principales objetivos la promoción del uso de materiales con ciclos de vida sostenibles y regenerativos, es por eso que la ingeniería avanza hacia la consecución de materiales que cumplan con estas características o la transformación de los ya existentes para su adaptación,

otros objetivos de la certificación LEED son: la reducción del impacto del ciclo de vida de la edificación, la divulgación del producto y optimización, y la reducción de los desechos de construcción y demolición.

Uno de los avances más significativos en los últimos años, es lo que viene haciendo la empresa mexicana Cemex, la cual tiene presencia en más de 50 países en América, Europa, África y Asia; y así mismo es uno de los mayores comercializadores de cemento y Clinker en el mundo. Esta empresa ofrece dentro de sus productos la venta de agregados reciclados en diferentes países, como México, Alemania, Francia, Austria y Colombia, siendo en este último la ciudad de Bogotá la base para sus operaciones, donde la empresa se encarga de la demolición, separación y reciclaje primario de estructuras de concreto y mampostería para luego transportarlos a la planta de clasificación, donde posteriormente son triturados y separados de acuerdo a las necesidades del comprador, en la **Figura N° 4** se puede observar los agregados ofrecidos por Cemex en Colombia.

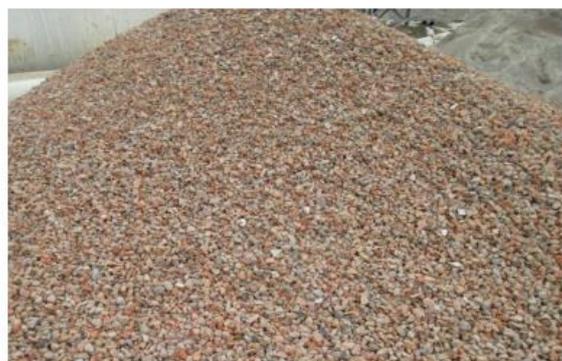
**Figura N° 4:** Agregados reciclados vendidos por Cemex



**Grava RCD de Concretos**



**Arena RCD de Concretos**



**Grava RCD de Mampostería**



**Arena RCD de Mampostería**

**Fuente:** Cemex, 2018

Por lo cual en esta investigación, realizando diseños de mezclas de concreto y sustituyendo el agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado en diferentes porcentajes, se puede evaluar la factibilidad de reciclar el concreto, haciendo un análisis de sus propiedades entre ellos, evaluando si estos cumplen con los requerimientos mínimos de las Normas Técnicas Peruanas (NTP), para su utilización a nivel masivo en las obras de la ciudad y cuál sería el porcentaje óptimo para las condiciones que se presentan en nuestra zona, evaluando los costos de producción, así mismo contribuye al desarrollo de una norma para garantizar el uso responsable de estos nuevos productos donde las leyes y regulaciones ambientales deberían incentivar a la reutilización y reciclaje, y no solo a la eliminación, certificando a las empresas y construcciones que usan este tipo de materiales.

Con estos nuevos productos se abriría una nueva alternativa tanto de conservación ambiental como de negocio por parte de las empresas dedicadas a este sector, ya que reducirían costos en materia prima. Siendo los principales sectores de interés: los fabricantes de cemento, fabricantes de concreto premezclado, productores de piezas prefabricadas de concreto, productores de agregados, empresas de reciclaje, empresas de demolición, constructores de vías, empresas de construcción, ingenieros, arquitectos, gobiernos locales, entidades reguladoras de desechos, asociaciones comerciales, agencias medioambientales, ONG, centros de investigaciones, la industria de construcción verde, universidades, consumidores y público en general.

Con esta investigación se pretende dar a conocer al público trujillano si el uso de agregados reciclados dentro de las condiciones y necesidades que se tiene en esta ciudad, cumple con los estándares internacionales y nacionales, teniendo la seguridad que usarán un material que asegure la calidad y duración de su obra

#### **1.4. Limitaciones**

- Cantidad reducida de agregado reciclado para planta chancadora por lo cual la trituración se hizo de manera manual.
- Insuficiente espacio en el laboratorio de concreto de la universidad para el manejo de todos los materiales y muestras necesarias, por lo cual se hará uso de otros espacios particulares que serán adecuadamente adaptados para el manejo de estos materiales.
- Limitada disponibilidad del laboratorio para trabajar en algunos horarios.
- El equipo necesario para ensayo de contenido de aire atrapado en concreto fresco no se encontraba disponible, por lo cual no se realizó dicho ensayo.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Determinar el efecto del agregado de concreto reciclado sobre las propiedades mecánicas en un concreto convencional.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino, agregado grueso y agregado reciclado según las Normas Técnicas Peruanas (NTP), realizando los ensayos de granulometría por tamizado (NTP 400.012:2013), contenido de humedad (NTP 339.185:2013), peso unitario (NTP 400.017:2011), absorción y peso específico (NTP 400.021:2013 y NTP 400.022:2013), cantidad de finos (NTP 400.018:2013), durabilidad a los sulfatos (NTP 400.016:2011) y resistencia al desgaste por Medio de la Máquina los Ángeles (NTP 400.019:2002).
- Diseñar mezclas de concreto convencional para 3 relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) modificando la cantidad de agregado grueso por agregado de concreto reciclado en 4 porcentajes (15%, 30%, 45% y 60% en peso respecto del agregado grueso), usando plastificante.
- Evaluar el asentamiento (NTP 339.035:2009), temperatura (NTP 339.184:2013) y peso unitario (NTP 339.046:2008) del concreto en estado fresco.
- Evaluar la resistencia a compresión (NTP 339.034:2008) de especímenes cilíndricos de 4"x8".
- Determinar la absorción capilar (IRAM 1871:2004) de los especímenes a 28 días de curado.
- Estimar los costos de producción del concreto con agregado reciclado.
- Comparar los datos obtenidos por influencia del agregado de concreto reciclado con los datos obtenidos del concreto convencional patrón, según las relaciones agua/cemento en las propiedades del concreto.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### En el ámbito internacional:

Bedoya y Dzul (2015) En su investigación “El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana” se plantearon el objetivo de determinar las resistencias al esfuerzo de la compresión a edades de 3, 7, 14, 28, 56 y 91 días de curado, así como su comportamiento ante agentes atmosféricos por medio de ensayos de porosidad, absorción y carbonatación. Sustituyeron los agregados naturales por agregados reciclados gruesos y finos en porcentajes del 25%, 50% y 100%. En los escombros seleccionados y triturados se mantuvo una proporción de 50% de concreto demolido y 50 % de mampostería de ladrillo cerámico con mortero de pega, esto, para el caso del agregado fino reciclado. Para el caso del agregado grueso reciclado solo se trabajó con residuos de concreto. Concluyendo que las resistencias a compresión alcanzadas y las medidas de velocidad de pulso ultrasónico en algunas mezclas fueron del orden del 98% de la mezcla de referencia; además con la mezcla con reemplazo de 100% de agregados reciclados disminuyó la profundidad de carbonatación 0.7mm con respecto a la mezcla de referencia simulada de 27 años. Así mismo con sus resultados, concluyen que sí se puede confeccionar concretos estructurales y no estructurales para uso masivo en la construcción.

De esta investigación se rescata que mientras más agregado reciclado se reemplace con el agregado natural, la resistencia decaerá, el promedio de los seis resultados de la mezcla con 25% de agregado reciclado en reemplazo de agregado natural es del 98.03% en comparación con la mezcla de referencia 0%; el de la mezcla con 50% es del 95.43%; y el de la mezcla 100% es del 86.70%. Cabe anotar que en las tres mezclas de concreto reciclado 25%, 50% y 100% de sustitución se reemplazó tanto el agregado grueso como el agregado fino, sin embargo, recomiendan utilizar el reemplazo de 25% porque sus propiedades se mantienen a comparación de la mezcla de referencia.

Cardenas y Hernandez (2014) En su investigación “Caracterización de los agregados de concreto reciclado propiedades técnicas y uso.” se plantearon el objetivo de caracterizar los agregados de concreto reciclado. Para ello utilizaron información recogida de otras investigaciones siendo la más resaltante la de Gómez en España, donde reemplazó agregados naturales por agregado de concreto reciclado (ARC) con reemplazos de 0%, 15%, 30%, 60% y 100%. Para ello utilizó 4 m<sup>3</sup> de un concreto original de uso común, procedente de planta premezcladora, que se colocaron en elementos de encofrado de madera con dimensiones de 0.40m x 0.20m x 0.10m. Se dispusieron también para el análisis del comportamiento mecánico 8 cilindros de Ø 0.15m x 0.45m y 50 cilindros más de Ø 0.15m x 0.30m. Concluyen que agregados reciclados procedentes de concreto presentan un elevado

nivel de poros, posibilidad de absorber más agua y una densidad más baja que los agregados de uso usual. Además, las propiedades varían según la función del tipo de concreto original, su estado de conservación y al último proceso de producción del cual fueron creados. Donde existe una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de concreto reciclado y la resistencia a compresión. A mayor cantidad de agregado de concreto reciclado menor será la resistencia del concreto. Donde su diseño patrón alcanzó una resistencia de 124.1% sobre la resistencia de diseño, mientras que con 15% de agregado reciclado alcanzó 99.6% respecto de lo alcanzado con 0%, para los reemplazos de 30%, 60% y 100% alcanzaron una resistencia de 97.8%, 91.6% y 90.0% respectivamente.

De esta investigación se rescata que los concretos reciclados requieren mayor consumo de agua que los naturales, teniendo como resultado en el ensayo de absorción 0.42% para el agregado natural y 2.62% para el agregado reciclado, para así alcanzar asentamientos similares y que es importante la cantidad y calidad de pasta que constituyan los agregados reciclados de concreto.

Jiménez, Moreno y Ortiz (2013) En su investigación "Comportamiento mecánico y elástico de concreto con agregado grueso calizo reciclado de alta absorción" se trazaron los objetivos de encontrar pautas para aplicaciones estructurales, se estudiaron las propiedades mecánicas y elásticas de concretos con agregado grueso reciclado de alta absorción, obtenido de la trituración de especímenes de concreto normal. Para ello utilizaron agregado grueso reciclado obtenido de la trituración de probetas de concreto normal procedente de una investigación previa, con 6 meses de edad, cuya resistencia a la compresión en promedio fue de 30 MPa, fijaron resistencias de 20, 30, 40 y 50 MPa y en todas se sustituyó al 100% la grava natural por grava reciclada para el ensayo de resistencia a la compresión; para evaluar la relación de Poisson se emplearon resistencias de 15, 20 y 30MPa con sustitución de 100% la grava natural por grava reciclada. Concluyendo que los concretos elaborados con agregados reciclados para diseños de mezcla con resistencia hasta de 30 MPa (306 kgf/cm<sup>2</sup>), pueden alcanzar prácticamente las mismas resistencias y propiedades elásticas que los concretos fabricados con agregados normales, demostrando que si el concreto original es de buena calidad es posible obtener concreto reciclado con propiedades semejantes; sin embargo, los diseños mayores a 30MPa no llega a la resistencia requerida. Además, los valores de la relación de Poisson fluctuaron de 0.15 a 0.18, dentro del rango aceptado para concreto de peso normal. Finalmente, el Módulo de Elasticidad del concreto reciclado fue de 10,000  $\sqrt{(f'c)}$ , sensiblemente menor a lo recomendado por el ACI 318, pero similar a los valores típicos hallados en concretos normales de la región.

De esta investigación se rescata que los concretos reciclados sustituidos al 100% se pueden utilizar en concreto estructural o para resistencias menores o iguales que 30MPa. Además,

es importante hacer la comparación con agregados de la región para definir su verdadero beneficio.

**En el ámbito nacional:**

Jordan y Viera (2014) En su investigación “Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra” tuvieron como objetivo conocer los procesos de variación del comportamiento estructural del concreto, elaborados con diferentes porcentajes de agregados gruesos reciclados, para su respectiva utilización, determinando las resistencias a la compresión. Fabricaron concretos con 0%, 25%, 50% y 100% de agregado reciclado en reemplazo del agregado grueso. Para ello elaboraron 72 y 36 especímenes de concreto cilíndricos para resistencias a compresión de 210 kgf/cm<sup>2</sup> y 175kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Concluyen que la variación de la resistencia está en función del porcentaje de agregado de concreto reciclado utilizado, obteniendo mejores resultados de resistencia con la adición de 25% de agregado reciclado, pero en comparación con el reemplazo de 50% de agregado reciclado requiere de mayor gasto operativo en la producción del mismo ya que necesita mayor cantidad de agregado grueso natural. Por lo tanto, concluye que el porcentaje idóneo para utilizar es el 50% ya que la resistencia a compresión obtenida para el diseño de 175 kgf/cm<sup>2</sup> es del 95.80% respecto al patrón (0% de agregado reciclado) y para el diseño de 210 kgf/cm<sup>2</sup> es del 108.34% respecto al patrón (0% de agregado reciclado). Además, la mezcla con 100% de agregado de concreto reciclado presenta irregularidades en la resistencia a compresión, siendo útil en veredas, pisos, sobrecimientos, etc. También concluye que las propiedades físicas del agregado de concreto reciclado; como el peso específico, absorción y los pesos unitarios, dependerán del origen del concreto reciclado.

De esta investigación se rescata que el uso de agregado de concreto reciclado en la preparación de concreto, genera la utilización de mayor cantidad de agua, este agregado presenta una mayor capacidad de absorción, debido a la porosidad de sus partículas producto del mortero adherido y que es importante conocer el origen del concreto reciclado para el diseño de mezcla de acuerdo a la **Tabla N° 30**.

Asencio (2014) En su investigación “Efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto  $f'c=210$  kgf/cm<sup>2</sup>” se trazó el objetivo de presentar el efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto de  $f'c=210$  kgf/cm<sup>2</sup>, obtenidos a partir de la elaboración de especímenes estándar con agregados de concreto reciclado de pavimento rígido y agregados naturales para un  $f'c=210$ kgf/cm<sup>2</sup> de diseño a los 28 días de edad. Concluyendo que los agregados reciclados resisten un 15.49% menos que el concreto elaborado con agregados naturales a los 28 días, pero es más liviano en 147 kgf/m<sup>3</sup>. Así mismo la deformación y módulo de elasticidad del

concreto elaborado con agregado reciclado es menor en 18.7% y 12.98% respectivamente. Además, el concreto reciclado necesitará mayor cantidad de cemento para llegar a la misma resistencia requerida y por ello lo encarece en 2.8%, sin embargo, elaborar concreto con agregado reciclado es más económico en un 6.5%.

De esta investigación se rescata la necesidad de evaluar económicamente la elaboración de concreto con agregado reciclado tratando de optimizar el diseño para obtener una resistencia a compresión tolerable.

Sumari (2016) En su investigación “Estudio del Concreto de mediana a alta resistencia elaborado con residuos de Concreto y Cemento Portland Tipo I” tuvo como objetivo realizar una valoración de las propiedades del agregado fino y grueso reciclado y comparar con las propiedades de agregados naturales. Elaboró 3 diseños con el agregado natural y cemento “Sol tipo I” con asentamiento de 3-4” y relaciones agua-cemento: 0.45, 0.50 y 0.55 reemplazando al 100% con agregado fino y grueso reciclado manteniendo el asentamiento y tipo de cemento del concreto patrón. Concluyendo que se aumenta en 639% y 867% la absorción del agregado fino y grueso respectivamente, se disminuye el peso específico del agregado fino y grueso en un 19.5% y 10.9% respectivamente. Según las relaciones agua-cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, se disminuye la resistencia a compresión a los 28 días en un 2.7%, 7.3% y 9.7% respectivamente aumenta la absorción a 28 días en un 5%, 19% y 29% respectivamente y se disminuye el peso unitario del concreto fresco un 5.2%, 5.2% y 4.8% respectivamente.

De esta investigación se rescata que para mejorar su trabajabilidad en el tiempo se debe saturar el agregado reciclado con el agua de amasado, el asentamiento del concreto fresco reciclado disminuye rápidamente respecto al tiempo, puede disminuir 1 ½” la primera media hora, mientras que el concreto patrón puede disminuir hasta ½”.

Basándose en los antecedentes, se aprecia que aún existen grandes problemáticas en cuanto al porcentaje óptimo de reemplazo, pero en general la recomendación es que para concretos estructurales no se debe reemplazar más del 20%, ya que con esto no se ve afectado significativamente la resistencia a compresión que es la principal característica del concreto, mientras que para usos no estructurales, el porcentaje depende de la resistencia que se necesite y el costo de producción, siendo así en algunos casos el reemplazo del 100%. Para algunas aplicaciones especiales (ejemplo: concreto de alta resistencia) hay limitaciones en la idoneidad de su uso. En cuanto a disponibilidad de RCD por lo general las encontramos en zonas urbanas cercanas a los proyectos de construcción, mientras que la materia prima virgen en su mayoría tiene que ser transportada de lugares alejados a los proyectos. Para hacer esto viable sería ideal instaurar unidades móviles de separación e infraestructuras especializadas para así generar retornos atractivos.

Otro punto importante que se obtiene de analizar los antecedentes es la absorción de los agregados reciclados, que para tener mezclas fluidas se tiene que agregar más porcentaje de agua, variando la relación agua/cemento y con ello disminuyendo la resistencia, por lo cual en esta investigación se hará uso de un aditivo plastificante (Sikament 290N) para controlar la plasticidad del concreto dentro de un slump de 3" a 4", sin afectar los diseños por relación agua/cemento.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. CAPÍTULO I: CONCRETO

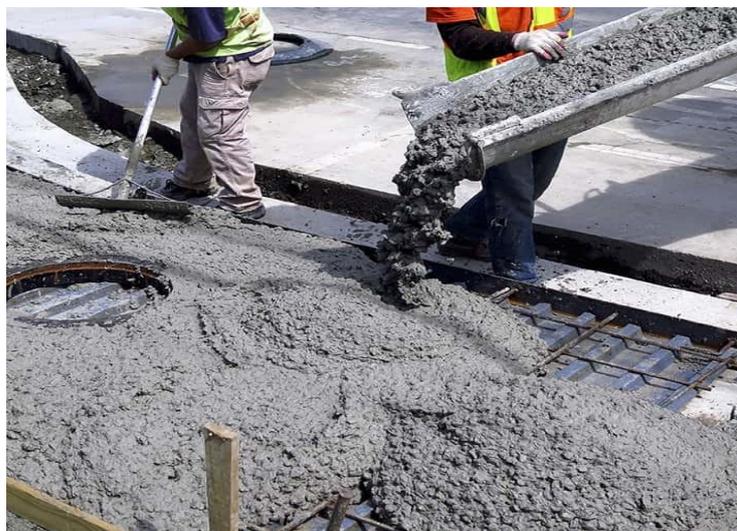
- **Definición**

Es un material compuesto de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El cemento, el agua y la arena forman el mortero cuya función es adherir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas. (Harmsen, 2005)

Que al endurecer forma un todo compacto y al paso del tiempo es capaz de resistir grandes esfuerzos de compresión. (Sanchez, 2001)

Para lograr concreto de calidad no sólo es necesario contar con materiales de óptima calidad mezclados en proporciones correctas. También es indispensable tener en cuenta factores como el proceso de mezclado, transporte, vaciado o colocación y curado. (Harmsen, 2005). En la **Figura N° 5** se muestra la colocación de concreto premezclado en pavimentos rígidos.

**Figura N° 5:** Vaciado de concreto



**Fuente:** ASOCEM, 2018

- **Conceptos Fundamentales sobre el comportamiento del concreto**

- Cuando incrementa la temperatura se dilata.
- Cuando disminuye la temperatura se contrae.
- Se desintegra cuando hay agresividad química
- Al superar su resistencia a tracción se fisura.
- La humedad, temperatura y el tiempo influyen en la correcta hidratación del concreto.
- El concreto se ve afectado significativamente por el medio ambiente y las condiciones de servicio.
- Mientras está en obra, el concreto cambia bruscamente de comportamiento según las características climáticas.
- El peso específico del concreto normal varía de aproximadamente 2250 a 2450 kgf/m<sup>3</sup>. (Winter & Nilson, 2002)

- **Propiedades fundamentales del concreto**

- **Propiedades del concreto en estado fresco:**

a) **Trabajabilidad:** es la propiedad del concreto que se refiere al mezclado, manejo, transporte, colocación, compactación y término sin que pierda su homogeneidad; es decir, exude o se segregue. Este depende del tamaño y forma de la estructura que se quiera construir. Un elemento delgado o muy reforzado necesita una mezcla más fluida que un elemento masivo o poco reforzado. Normalmente esta propiedad se puede determinar por medio del ensayo de asentamiento con el cono de Abrams o slump, la cual es útil para detectar las variaciones de uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas (Rivera , 2013). En la **Tabla N° 1** y **Tabla N° 2** se presentan valores de asentamientos recomendados según el tipo de obra y condiciones de colocación:

**Tabla N° 1:** Valores de asentamientos recomendada según el tipo de obra y condiciones de colocación.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy Seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentados con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.

Media plástica	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy Húmeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Súper Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

**Fuente:** (Rivera , 2013)

**Tabla N° 2:** Asentamientos recomendados para diversos tipos de obra

Tipo de Estructuras	Slump máximo	Slump mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

**Fuente:** (Pasquel , 1999)

Los factores que influyen en la trabajabilidad son:

- \* **Estabilidad:** es el desplazamiento producido en el concreto sin medir las fuerzas externas y se cuantifica por medio de la exudación y segregación.
- \* **Compactibilidad:** es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco.
- \* **Movilidad:** facilidad del concreto desplazado producto de una fuerza externa. Este se evalúa según la viscosidad, cohesión y resistencia interna al corte. (Pasquel , 1999)  
Gradación, forma y textura superficial de los agregados, cantidades relativas de pasta y agregados, fluidez de la pasta, contenido de aire, agua y agregado grueso, porcentaje de arena en el agregado total, aditivos y métodos de mezclado (Rivera , 2013).

**b) Segregación:** las densidades de partículas provocan que las más pesadas descendan y las más livianas se queden suspendidas, generalmente la densidad de la pasta de cemento con el agregado fino es un 20% menor que la densidad del agregado grueso, lo que genera que el agregado grueso quede atrapado en el fondo (Pasquel , 1999). En la **Figura N° 6** se aprecia la separación del agregado grueso del mortero asentándose en el fondo del molde debido a la segregación.

**Figura N° 6:** Segregación del concreto



**Fuente:** Trochez, 2018

- c) Exudación:** una parte del agua de mezcla se separa de la masa y se eleva hacia la superficie del concreto. Está influenciada por la cantidad de finos que se encuentren en la mezcla, por lo que cuando mayor cantidad de cemento exista o mayor porcentaje de agregado fino retenido en la malla N°100, la exudación será menor pues el agua de mezcla es retenida. (Pasquel , 1999). En la **Figura N° 7** se aprecia excesiva presencia de agua en la superficie de una losa recién vaciada debido a la exudación.

**Figura N° 7:** Exudación del concreto



**Fuente:** Trochez, 2018

- d) Contracción:** acarrea con frecuencia la fisuración en el concreto dado que ocurre tanto en estado plástico como en endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla. Este proceso no es irreversible, ya que si se repone el agua de mezcla puede

recuperarse gran parte de la contracción (Pasquel , 1999). En la **Figura N° 8** se aprecia presencia de fisuras en la superficie debido a la contracción del concreto.

**Figura N° 8:** Contracción del concreto

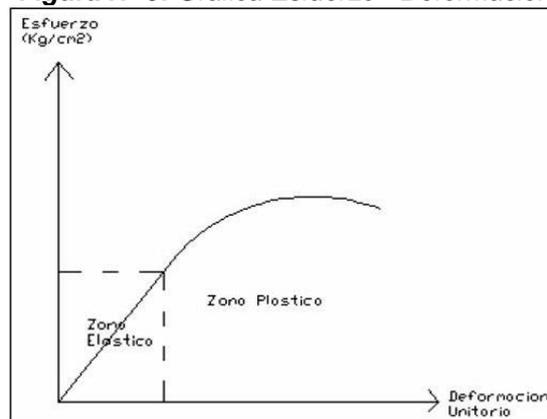


**Fuente:** Trochez, 2018

- **Propiedades principales del concreto endurecido**

- e) **Elasticidad:** es la capacidad del concreto al deformarse al ser sometido a una carga. El concreto no es un material elástico en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación. Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000  $\text{kgf/cm}^2$  y se relacionan directamente con la resistencia a compresión y en relación inversa con la relación agua/cemento. Las mejores mezclas se obtienen con mayor módulo de elasticidad y mayor capacidad de deformación (Pasquel , 1999). En la **Figura N° 9** se muestra el comportamiento del concreto al ser sometido a cargas.

**Figura N° 9:** Grafica Esfuerzo - Deformación



**Fuente:** Pasquel, 1999

- a) **Resistencia:** es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento la resistencia a compresión en comparación de la resistencia a tracción. Depende de la concentración de la pasta, es decir la relación agua/cemento. Los factores que más la afectan son las características resistentes de la pasta, la temperatura y el tiempo, el tipo y características particulares del cemento que se use y de la calidad de los agregados. Un factor indirecto lo constituye el curado, ya que el concreto necesita su complemento de hidratación mientras endurece. Los concretos normales tienen resistencias entre 100 a 400 kgf/cm<sup>2</sup> y con el uso de aditivos se puede llegar hasta una resistencia de 700 kgf/cm<sup>2</sup>. El uso de aglomerantes sintéticos permite que se llegue a una resistencia de 1500 kgf/cm<sup>2</sup> (Pasquel , 1999). En la **Figura N° 10** se muestra las probetas cilíndricas de concreto sometidas a una carga axial en una de sus superficies y la fórmula para determinar la resistencia a compresión.

**Figura N° 10:** Resistencia a compresión del concreto



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

- b) **Extensibilidad:** es la propiedad del concreto sin agrietarse. Esta va a depender de la elasticidad y el flujo plástico, el cual es constituido por la deformación que sufre el concreto bajo una carga constante. En condiciones normales la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria (Pasquel , 1999).
- c) **Permeabilidad:** es la propiedad que se refiere a la cantidad de migración de líquidos por los poros del material en un tiempo determinado.

- **Materiales**

El concreto se compone principalmente por agregado grueso y fino, cemento Portland, agua y aditivos (Pasquel , 1999).

**a) Cemento:** es un aglomerante absorbente, resultante de rocas calizas, areniscas y arcillas, que al ser molidas da como resultado un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes necesarias para unir agregados inertes entre sí.

\* **Mecanismos de Hidratación del Cemento:** la velocidad con la que se desarrolla la hidratación es directamente proporcional a la finura del cemento e inversamente proporcional al tiempo, por lo que inicialmente es muy rápida y va disminuyendo paulatinamente con el transcurso de los días, aunque nunca se llega a detener. El proceso es exotérmico generando un flujo de calor hacia el exterior denominado calor de hidratación. Dependiendo de la temperatura, el tiempo, y la relación entre la cantidad de agua y cemento que reaccionan, se pueden definir los siguientes estados:

- **Plástico:** unión del agua y el polvo de cemento formando una pasta moldeable. Cuanto menor es la relación Agua/Cemento, mayor es la concentración de partículas de cemento en la pasta compactada y por ende la estructura de los productos de hidratación es mucho más resistente.
- **Fraguado inicial:** condición en que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de plasticidad, midiéndose en términos de resistencia a deformarse. Es la etapa en la que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el calor de hidratación.
- **Fraguado final:** se obtiene al término de fraguado inicial, caracterizándose por su endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas.
- **Endurecimiento:** Estado en el que se mantienen e incrementan las características resistentes.

\* **Estructura del Cemento Hidratado:** durante el proceso de hidratación, el volumen externo de la pasta se mantiene relativamente constante, sin embargo, internamente el volumen de sólidos se incrementa constantemente con el tiempo, causando la reducción permanente de la porosidad. Está demostrado que el menor valor de la relación Agua/Cemento para que se produzca la hidratación completa del cemento es del orden de 0.35 a 0.40 en peso para condiciones normales de mezclado y sin aditivos, dependiendo de la relación precisa de cada caso en particular.

\* **Tipos de cemento:** existen 5 denominados por su tipo: (ACI, 2015)

- **Tipo I:** para usos generales.
- **Tipo II:** generalmente se usa cuando se requiere disminuir el calor de hidratación o cuando se necesita una moderada resistencia a los sulfatos.
- **Tipo III:** produce alta resistencia inicial, en comparación con el tipo I, este cemento alcanza la resistencia en 7 días que el tipo I alcanza en 28 días, pero la resistencia a largo plazo se mantiene.
- **Tipo IV:** produce bajo calor de hidratación, su uso ha sido limitado a estructuras masivas como las presas.
- **Tipo V:** Es resistente a sulfatos, se usa usualmente en suelos altamente sulfatados o cuando hay sulfatos presentes en forma de solución o en el agua freática.

**b) Agregados:** las características físicas primordiales en los agregados son densidad, resistencia, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas. Los agregados tienen mucha importancia como materiales inertes de relleno en la mezcla de concreto. No forman parte de las reacciones químicas en la pasta del cemento al endurecer, pero sí afectan la calidad del concreto resultante debido a la solidez de las partículas y su gradación. El tamaño requerido de los agregados lo determinarán las especificaciones del proyecto (ACI, 2015).

En los hormigones estructurales ordinarios, los agregados ocupan del 70 al 75 por ciento del volumen de la masa endurecida. En cuanto mejor pueden compactarse los áridos, mejores son las resistencias mecánicas, resistencia a los elementos y economía del concreto, razón por la que tiene considerable importancia la granulometría de las partículas de los agregados que debe permitir obtener una masa muy bien compactada. Se clasifican en finos o gruesos según su granulometría; los áridos finos son todos los materiales que pasan por el tamiz N°4 (25.4mm) y los de mayor tamaño son los áridos gruesos (Winter & Nilson, 2002).

\* **Importancia:** Los agregados en el concreto ocupan alrededor de las  $\frac{3}{4}$  partes del volumen total del concreto y su principal función es formar la estructura resistente, dándole las propiedades particulares de resistencia, conductibilidad y durabilidad al concreto (Pasquel, 1999).

\* **Características geométricas y morfológicas:** las propiedades del concreto son alteradas debido a la forma y la textura de las partículas de los agregados. Existe un efecto de anclaje mecánico relativamente favorable en función con el tamaño, textura superficial, forma y el acomodo entre ellas, pero también se producen fenómenos de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados que ocasionan cambios en el comportamiento resistente y en la durabilidad del concreto.

- **Forma:** por naturaleza los agregados presentan combinaciones aleatorias de caras redondeadas y angularidades. La redondez o angularidad puede definirse como la relación entre el radio de curvatura promedio de los bordes de la partícula entre el radio del máximo círculo inscrito. La esfericidad depende de la relación entre el área superficial de la partícula y su volumen, la longitud máxima del prisma rectangular circunscrito, la velocidad de sedimentación y la relación entre el volumen de la partícula y el de la esfera circunscrita. A continuación, se caracteriza numéricamente en la **Ecuación N° 1:**

**Ecuación N° 1: Esfericidad del Agregado**

$$S = \frac{d}{a} \quad \text{o} \quad S = \sqrt{\frac{bc}{a^2}}$$

Donde:

S = esfericidad.

d = diámetro de la esfera de igual volumen que la partícula.

a = longitud del eje mayor.

b = longitud del eje intermedio.

c = longitud del eje menor.

En términos descriptivos en la **Tabla N° 3** se muestra la forma y características de los agregados.

**Tabla N° 3: Forma de Agregados**

FORMA	CARACTERÍSTICAS
Angular	Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
Subangular	Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
Subredondeada	Considerable desgaste en caras y bordes.
Redondeada	Bordes casi eliminados.
Muy redondeada	Sin caras ni bordes.

**Fuente:** (Pasquel , 1999)

- **Textura:** Representa la rugosidad de la superficie del agregado. Está ligada a la absorción, pues los que son muy rugosos tienen mayor absorción y producen concretos menos plásticos que los lisos ya que la fricción aumenta entre las partículas y dificulta el desplazamiento de la masa.

- **Propiedades**

Las propiedades que debe cumplir están estipuladas en la Norma Técnica Peruana desde su procedimiento de extracción (NTP 400.010:2011).

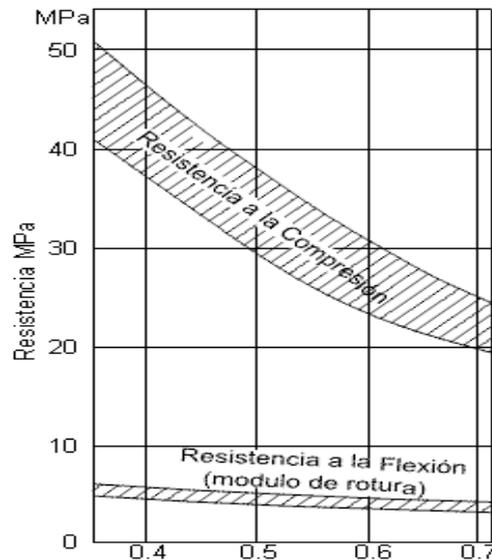
- \* **Densidad:** propiedad que relaciona la masa con el volumen y significa que existe una determinada carga en ese espacio.
- \* **Peso Específico:** es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas, se determina siguiente el procedimiento comprendido en la NTP 400.021:2013. Su valor para agregados normales oscila entre  $2500 \text{ kgf/cm}^3$  y  $2750 \text{ kgf/cm}^3$ .
- \* **Peso Unitario:** resulta del cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos, se determina bajo la norma NTP 400.017:2011. Los concretos ligeros tienen una densidad menor a  $1800 \text{ kgf/m}^3$ , la densidad de los concretos normales oscilan entre  $2200 \text{ kgf/m}^3$  a  $2300 \text{ kgf/m}^3$  y la de los concretos pesados oscilan entre  $2800 \text{ kgf/m}^3$  a  $6000 \text{ kgf/m}^3$ .
- \* **Módulo de Saturación:** es la relación existente entre los poros abiertos al módulo total de poros. Se esquematiza partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial.
- \* **Porcentaje de Vacíos:** es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados.
- \* **Capilaridad:** es la propiedad que consiste en el ascenso del agua que está en contacto con sus caras.
- \* **Grado de Absorción:** la capacidad de una roca de absorber agua en determinado tiempo.
- \* **Porosidad:** es el volumen de espacios dentro de las partículas de agregados.
- \* **Humedad:** es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado.
- \* **Permeabilidad:** consiste en dejar filtrar agua a través de su masa.
- \* **Dureza:** resistencia que ofrece al rayado y se determina según la escala de MOHS.
- \* **Tenacidad:** se denomina así en general a la resistencia al impacto.
- \* **Resistencia al calor:** resistencia presentada sometida a temperaturas elevadas.

**c) Agua**

- \* **Agua de Mezcla:** en la mezcla tiene 3 funciones importantes: reaccionar con el cemento para hidratarlo, actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto y procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

- \* **Agua para Curado:** es el agua adicional que puede contribuir a hidratar el concreto, durante la hidratación de los materiales cementantes.
  
  - d) **Aditivos:** son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto (Pasquel , 1999).  
Los aditivos más comunes son: (ACI, 2015)
  - \* **Reductores de agua:** mejoran la manejabilidad y ayuda a reducir hasta en un 5% la cantidad de agua conservando su resistencia.
  - \* **Retardantes:** se usan en climas cálidos para prolongar el tiempo de fraguado, mayorando así el tiempo de colocación y acabado.
  - \* **Acelerantes:** se usan para acortar el tiempo de fraguado o para producir una alta resistencia inicial. Usualmente son utilizados en climas fríos.
  - \* **Incorporadores de aire:** son esenciales para la durabilidad cuando el concreto se somete a congelamiento y deshielo y a la aplicación de sales descongelantes. Las burbujas microscópicas creadas en la pasta de cemento provocan que la mezcla tenga una mayor manejabilidad.
  - \* **Plastificante:** son productos químicos que se pueden añadir al hormigón para mejorar su manejabilidad. Normalmente el porcentaje que superplastificante o plastificante que se añade a la mezcla es del 2%. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la mayoría de los superplastificantes disponibles en el comercio vienen disueltos en agua, por lo cual al añadirlo a la mezcla también se está añadiendo un porcentaje de agua. Añadir una cantidad excesiva de superplastificante puede dar lugar a que el hormigón presente segregación, lo cual no es aconsejable.
- 
- **Dosificación y mezclado del concreto**  
Los componentes de la mezcla se dosifican de tal forma que el concreto resultante tenga buena resistencia, una manejabilidad que haga posible su colocación y se fabrique con el menor costo posible. Cuanto mejor es la granulometría de los agregados, menos pasta de cemento se necesitará. A medida que se añade agua, crece la plasticidad y fluidez de la mezcla, pero la resistencia disminuye como consecuencia del mayor volumen de huecos creados por el aire libre como se aprecia en **Figura N° 11**. Para reducir el agua libre sin alterar su manejabilidad es necesario añadir cemento. Para una relación agua/cemento dada se selecciona la mínima cantidad de cemento que proporcione la manejabilidad deseada. (Winter & Nilson, 2002)

**Figura N° 11:** Efecto de la relación agua/cemento sobre la resistencia a compresión y resistencia a flexión a 28 días



**Fuente:** (Winter & Nilson, 2002)

- **Diseño de Mezclas según ACI 211**

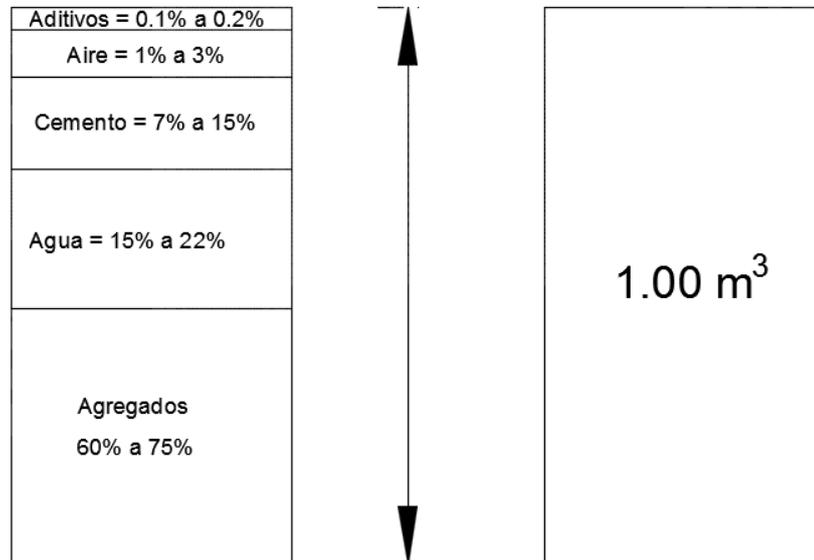
Para diseñar las mezclas de concreto se deben tener en cuenta los diferentes criterios como: resistencia esperada, criterio de balance de volúmenes, las cantidades aproximadas de agua de amasado según los diferentes tamaños de agregado y contenido de aire, la relación agua/cemento y el volumen de agregado grueso según los módulos de fineza de la arena. En la **Tabla N° 4** se muestra los valores del factor de seguridad que se le asigna a las resistencias de diseño, y la **Figura N°12** se muestra el porcentaje en volumen que ocupa los diferentes componentes del concreto.

**Tabla N° 4:**  $f'_{cr}$  aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación standard.

$f'_{cr}$ especificado	$f'_{cr}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
Menos de 210	$f'_{c} + 70$
210 a 350	$f'_{c} + 84$
Mayor de 350	$f'_{c} + 98$

**Fuente:** (Pasquel , 1999)

**Figura N° 12:** Criterio del balance de volúmenes absolutos.



**Fuente:** (Pasquel , 1999)

## 2.2.2. CAPÍTULO II: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO

- **Definición**

La Norma Técnica Peruana NTP 400.053:2014 lo llama Granulado de concreto y lo define como el material secundario de construcción proveniente del tratamiento del concreto y mortero de demolición hasta llevarlo a partículas de tamaño similar al de los agregados

- **Propiedades de los agregados reciclados procedentes de concreto Triturado**

- a) **Densidad**

En general, la densidad de superficie saturada (SSD) de los agregados reciclados es menor que la de los agregados naturales, debido a la baja densidad del mortero que se adhiere a la suma original. Depende de lo siguiente:

- \* **La fuerza del concreto original:** Viera y Jordan (2014) concluye que, con la misma cantidad de mortero, un agregado reciclado que se ha obtenido a partir de un concreto de mayor resistencia tendrá una mayor densidad.

- **El tamaño de agregado:** La densidad de superficie saturada (SSD) de los agregados depende de su calidad. Los agregados con una mayor cantidad de mortero adherido tendrán una densidad más baja. Según Hansen (1985) los cambios de densidad con el tamaño del agregado, es igual cuando el concreto es un triturado con la misma máquina de molienda, empleando la misma cantidad de energía en el proceso de molienda.

Muchos estudios informan sobre los intervalos de densidades (2290 a 2490 kg/m<sup>3</sup>), dependiendo del tamaño de los agregados. La densidad (SSD) del agregado de concreto reciclado reduce con menor tamaño de los agregados.

#### b) Absorción de agua

La capacidad de absorción de agua del agregado reciclado en la mezcla, representa una de las principales diferencias entre los agregados reciclados y materias primas. Se informa a depender de:

- \* **Tamaño del agregado:** la capacidad de absorción de los agregados aumenta con su tamaño. Los agregados de menor tamaño que tiene una mayor capacidad de absorción de agua.

La capacidad de absorción de agregados reciclados aumenta con una mayor cantidad de mortero adherido la gran cantidad de mortero adherido en el agregado reciclado produce también una disminución de la densidad la relación entre la resistencia del hormigón original, el tamaño de agregado reciclado, la cantidad de mortero adherido, densidad y absorción de los agregados reciclados se muestra en la **Tabla N° 5**:

**Tabla N° 5: Propiedades del agregado natural y agregado reciclado**

	Tamaño en mm	Gravedad Especifica SSD cond.	Absorción de agua en porcentaje	Los Ángeles	% volumen de mortero
Grava Natural Original	4 - 8	2500	3.7	25.9	0
	8 - 16	2620	1.8	22.7	0
	16 - 32	2610	0.8	18.8	0
Agregado Reciclado (H) (a/c=0.40)	4 - 8	2340	8.5	30.1	58
	8 - 16	2450	5	26.7	38
	16 - 32	2490	3.8	22.4	35
Agregado Reciclado (M) (a/c=0.70)	4 - 8	2350	8.7	32.6	64
	8 - 16	2440	5.4	29.2	39
	16 - 32	2480	4	25.4	28
Agregado Reciclado (L) (a/c=1.20)	4 - 8	2340	8.7	41.4	61
	8 - 16	2420	5.7	37	39
	16 - 32	2490	3.7	31.5	25
Agregado Reciclado (M) (a/c=0.70)	< 5	2280	9.8	-	-

**Fuente:** (Hansen & Narud, 1983)

**c) Abrasión Los Ángeles**

Con respecto a los agregados reciclados cambia el valor de Abrasión Los Ángeles en función de la resistencia del concreto original, la cantidad de mortero adherido y la calidad total original. El concreto con una resistencia superior sufre menos desgaste. En los agregados reciclados de "Abrasión Los Ángeles, porcentaje de pérdida" no sólo depende de la cantidad de mortero adherido en su conjunto original, sino también en la forma que el concreto original es aplastado.

**d) Sulfato de Solidez**

La solidez de sulfato garantiza la resistencia de los agregados a los ciclos de congelación y descongelación. El porcentaje de pérdida de peso de los agregados reciclados expuestos al sulfato de la solución depende en gran medida de la composición de los agregados de prueba, así como el tipo de concreto original y el método de trituración.

**e) Contaminantes**

La presencia de contaminantes de la influencia de agregado reciclado de la fuerza y la durabilidad de los concretos elaborados con estos agregados. Hoy en día existen recomendaciones con respecto a la limitación de los diversos componentes que se pueden presentaren los agregados reciclados.

**f) Cloruros**

Se recomienda que las especificaciones del estándar de agregados reciclado de concreto y agregados reciclados deberían imponer límites estrictos sobre el contenido de cloruro de estos agregados y concreto.

• **Influencia de los agregados reciclados en el comportamiento del concreto en estado fresco**

**a) Trabajabilidad**

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

Yang, Chung, & Ashour (2008) demostraron que la pérdida relativa de asentamiento del concreto fresco contra el tiempo transcurrido, puede ser aproximadamente expresada con la **Ecuación N° 2**.

**Ecuación N° 2: Esfericidad del agregado**

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

Dónde

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

SL = es el asentamiento medido a T minutos y

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

#### **b) Peso unitario**

Los agregados reciclados poseen una menor densidad, pero las variantes de densidad no son tan marcadas como las que se tienen en absorción. Una menor densidad de los agregados resultará, lógicamente, en un concreto de menor peso unitario. Hansen & Narud (1983) señala que un concreto con agregados reciclados posee una densidad 5% menor.

#### **c) Exudación**

Hansen & Narud (1983) concluyeron que la exudación del concreto disminuye a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado grueso reciclado, debido a que el agua de sangrado es absorbida por la pasta de cemento en la superficie de los agregados.

- **Influencia de los agregados reciclados en el comportamiento del concreto en estado endurecido**

#### **a) Resistencia a Compresión**

En el caso del hormigón reciclado, la resistencia que debe alcanzarse con estos ensayos, para asegurar que la resistencia característica de obra será satisfactoria, puede ser algo superior a la esperada con un hormigón convencional, teniendo en cuenta el aumento en la dispersión de resultados derivada de la falta de uniformidad del árido reciclado empleado. Por tanto, se recomienda que en la realización de ensayos se utilicen áridos reciclados de diferentes calidades dentro de los límites admisibles.

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis General:

Al incrementar el contenido de agregado de concreto reciclado en el rango de 15% a 60% respecto al agregado grueso en el diseño de mezcla con relaciones agua/cemento de 0.55, 0.65 y 0.70, mantiene las propiedades mecánicas respecto a un concreto convencional.

**Tabla N° 6: Hipótesis General**

Hipótesis General	Componentes Metodológicos			Componentes Referenciales	
	Variable	Unidad de Análisis	Conectores Lógicos	EI Espacio	EI Tiempo
Al incrementar el contenido de agregado de concreto reciclado en el rango de 15% a 60% respecto al agregado grueso en el diseño de mezcla con relaciones agua/cemento de 0.55, 0.65 y 0.70, mantiene las propiedades mecánicas respecto a un concreto convencional.	- Porcentaje de Agregado Reciclado - Relaciones A/C	Probeta de concreto	Mantiene	Trujillo	2018

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 3.1.2. Hipótesis Específicas:

- La cantidad de agregado de concreto reciclado y relaciones agua/cemento mantiene la resistencia a compresión de un concreto convencional, Trujillo 2018.

**Tabla N° 7: Hipótesis Específicas para resistencia a compresión**

Hipótesis Especifica	Componentes Metodológicos			Componentes Referenciales	
	Variable	Unidad de Análisis	Conectores Lógicos	EI Espacio	EI Tiempo
- La cantidad de agregado de concreto reciclado y relaciones agua/cemento mantiene la resistencia a compresión de un concreto convencional, Trujillo 2018.	- Porcentaje de Agregado Reciclado - Relaciones A/C	Resistencia a compresión	Se Mantiene	Trujillo	2018

**Fuente:** Elaboración Propia

- La cantidad de agregado de concreto reciclado y relaciones agua/cemento mantiene la succión capilar de un concreto convencional, Trujillo 2018.

**Tabla N° 8:** Hipótesis Específicas para Succión capilar

Hipótesis Específica	Componentes Metodológicos			Componentes Referenciales	
	Variable	Unidad de Análisis	Conectores Lógicos	EI Espacio	EI Tiempo
La cantidad de agregado de concreto reciclado y relaciones agua/cemento mantiene la succión capilar de un concreto convencional, Trujillo 2018.	- Porcentaje de Agregado Reciclado - Relaciones A/C	Succión capilar	Se mantiene	Trujillo	2018

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.2. Operacionalización de variables

#### 3.2.1. Variable Independiente:

- Cantidad de agregado de concreto reciclado
  - 0% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
  - 15% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
  - 30% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
  - 45% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
  - 60% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
- Relaciones agua/cemento
  - $R\ a/c = 0.55$
  - $R\ a/c = 0.65$
  - $R\ a/c = 0.70$

#### 3.2.2. Variable Dependiente:

- Propiedades mecánicas del concreto convencional
  - En estado endurecido:
    - \* Resistencia a compresión.
    - \* Permeabilidad por succión capilar

**Tabla N° 9: Operacionalización de variables**

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	ITEMS
Resistencia a Compresión	Esfuerzo máximo que presenta un material a compresión sin romperse.	El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.	Fuerza	Kilogramo fuerza	Kgf
			Área	Centímetro cuadrado	cm <sup>2</sup>
Succión capilar	Cantidad de migración de líquidos por los poros del material en un tiempo determinado.	El ensayo de capacidad y velocidad de succión capilar está asociado a la durabilidad de las estructuras de concreto.	Masa	Gramos	g
			Longitud	Metros	m
			Tiempo	Segundos	s

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

## CAPÍTULO 4. DESARROLLO

Los materiales a utilizar para la elaboración de probetas de concreto tales como cemento, agregado fino y agregado grueso se ha obtenido todo de un solo lote de la ferretería “Decas” ubicada en la urbanización San Isidro II Etapa, en la ciudad de Trujillo. Esta ferretería comercializa material extraído de la Cantera Huanchaco (ver **ANEXO N°5**), la cual es una de las principales fuentes de materia prima en la ciudad. Los agregados obtenidos de la ferretería Decas, después de haber sido sometidos a los ensayos correspondientes, han obtenido resultados aceptables para ser usados en la fabricación de concreto y por lo tanto, se utilizaron dentro de esta investigación.

La **Tabla N° 10** muestra la ubicación exacta en coordenadas de la ferretería Decas, donde se obtuvieron los materiales para la investigación. Además, la **Figura N° 13** muestra un mapa de la ubicación de la ferretería.

**Tabla N° 10:** Coordenadas del punto de compra de materiales.

Coordenadas del punto de compra de materiales	
Este	716164.00
Norte	49104536.00
Elevación	51 m

**Fuente:** Google Earth, Elaboración Propia

**Figura N° 13:** Ubicación de ferretería Decas.



**Fuente:** Google Maps, Elaboración Propia

El agregado de concreto reciclado se ha obtenido de la demolición de veredas en la vía Auxiliar de la Av. Nicolás de Piérola 1320, como se muestra en la **Figura N° 15**. Exactamente en el frontis la Empresa de transportes Royal Palace.

La **Figura N° 14** muestra la demolición de la vereda, la cual tenía una antigüedad de 7 años.

**Figura N° 14:** Demolición de vereda, extracción de agregado de concreto reciclado.



**Fuente:** Elaboración Propia

La **Tabla N° 11** muestra las coordenadas el punto de extracción del agregado de concreto reciclado.

**Tabla N° 11:** Coordenadas de extracción del agregado de concreto reciclado.

Coordenadas de punto de extracción	
Este	716164.00
Norte	49104536.00
Elevación	45 m

**Fuente:** Google Earth, Elaboración Propia

**Figura N° 15:** Ubicación del punto de extracción del agregado de concreto reciclado.



**Fuente:** Google Earth, Elaboración Propia

#### 4.1. Evaluación de Propiedades de Agregados

##### a) Ensayos Físicos

- **Granulometría bajo la norma NTP 400.012:2013**

La cantidad mínima de material utilizado para el agregado fino es de 500 gramos, para el agregado grueso es de 3000 gramos y para el agregado de concreto reciclado es de 3000 gramos como lo indica la norma.

Se tuvo en cuenta los husos granulométricos dispuestos en la NTP 400.037:2014.

La **Tabla N° 12** muestra el huso granulométrico utilizado para la clasificación del agregado fino.

**Tabla N° 12:** Huso granulométrico del Agregado Fino

Tamiz	Abertura (mm)	Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.8	95	100
N° 8	2.4	80	100
N° 16	1.2	50	85
N° 30	0.6	25	60
N° 50	0.3	5	30
N° 100	0.2	0	10

**Fuente:** NTP 400.037:2014, *Elaboración Propia*

- La **Tabla N°13** muestra los husos granulométricos utilizados en la clasificación del agregado grueso. Debido al tamaño máximo nominal del agregado grueso y el agregado de concreto reciclado, para la investigación se usó el huso granulométrico 67:

**Tabla N° 13: Huso Granulométrico del Agregado Grueso**

Huso	Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°50
1	3 1/2" - 1 1/2"	100	90 - 100	-	25 - 60	-	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-	-	-
2	2 1/2" - 1 1/2"	-	-	100	90 - 100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-	-	-
3	2" - 1"	-	-	-	100	90 - 100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-	-
357	2" - N°4	-	-	-	100	95 - 100	-	35 - 70	-	10 - 30	-	0 - 5	-	-	-
4	1/2" - 3/4"	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 5	-	0 - 5	-	-	-	-
467	1 1/2" - N°4	-	-	-	-	100	95 - 100	-	35 - 70	-	10 - 30	0 - 5	-	-	-
5	1" - 1/2"	-	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5	-	-	-	-
56	1" - 3/8"	-	-	-	-	-	100	90 - 100	40 - 85	10 - 40	0 - 15	0 - 5	-	-	-
57	1" - N°4	-	-	-	-	-	100	95 - 100	-	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5	-	-
6	3/4" - 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5	-	-	-
67	3/4" - N°4	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5	-	-
7	1/2" - N°4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5	-	-
8	3/8" - N°8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 - 5	-
89	1/2" - 3/8"	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	-	0 - 10	0 - 5
9	N°4 - N° 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 - 100	-	0 - 10	0 - 5

**Fuente:** NTP 400.037:2014, *Elaboración Propia*

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 14**:

**Tabla N° 14:** Formato de granulometría de los agregados

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. (%)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)	NTP 400.037:2014	
						Mínimo	Máximo
3"	75.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
N° 4	4.750						
N° 8	2.360						
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 50	0.300						
N° 100	0.150						
Fondo							

**Fuente:** Base de Datos, Elaboración Propia

- Se determinó el módulo de finura de los agregados con la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 3:** Módulo de Finura

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenido acumulado (6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

- **Contenido de humedad bajo la norma NTP 339.185:2013.**

La cantidad mínima de material utilizado para el agregado fino es de 300 gramos, para el agregado grueso es de 3000 gramos y para el agregado reciclado es de 3000 gramos como lo indica la norma y se determinó con la ecuación:

**Ecuación N° 4:** Contenido de Humedad

$$w\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad.

$P_h$  = Peso original de la muestra (gf).

$P_s$  = Peso seco de la muestra (gf).

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 15**.

**Tabla N° 15:** Formato de Humedad de los Agregados

CONTENIDO DE HUMEDAD			
Parámetros	Agregado		
	m1	m2	m3
A = Peso tara (gf)			
B = Peso tara + M. Húmeda (gf)			
C = Peso tara + M. Seca (gf)			
D = (B-A): Peso M. Húmeda (gf)			
E = (C-A): Peso M. Seca (gf)			
W%= (D-E)/E x 100			
<b>Humedad Promedio (%)</b>			

**Fuente:** Base de Datos, Elaboración Propia

- **Peso específico y absorción bajo la norma NTP 400.021:2013 y NTP 400.022:2013.**  
La cantidad mínima de material utilizado para el agregado fino es de 500 gramos, para el agregado grueso es de 3000 gramos y para el agregado reciclado es de 3000 gramos como lo indica la norma.
- Para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso y el agregado de concreto reciclado se utilizaron las ecuaciones:

**Ecuación N° 5:** Peso Específico de Masa

$$P.E.M. = \frac{G}{E - F}$$

**Ecuación N° 6:** Peso Específico S.S.S.

$$P.E.S.S.S. = \frac{E}{E - F}$$

**Ecuación N° 7:** Peso Específico Aparente

$$P.E.A. = \frac{G}{G - F}$$

**Ecuación N° 8:** Absorción

$$Abs (\%) = \frac{E - G}{G} * 100$$

Donde:

E: Peso de la muestra saturada (gf)

F: Peso de la muestra sumergida (cm<sup>3</sup>)

G: Peso de la muestra seca al horno (gf)

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 16**:

**Tabla N° 16:** Formato de Peso Específico del Agregado Grueso y el de Concreto Reciclado

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO			
Parámetros	m1	m2	m3
A = Peso tara (gf)			
B = Peso canastilla (gf)			
C = Peso sumergido + P. Canastilla (gf)			
D = Peso seco + P. Tara (gf)			
E = Peso saturado + Tara (gf)			
F = (C-B): Peso sumergido (gf)			
G = (D-A): Peso seco (gf)			
H = (E-A): Peso Saturado			
Peso específico aparente = G/(H-F)			
Peso específico saturado superficialmente seco = H/(H-F)			
Peso específico nominal = G/(G-F)			
Absorción (%) = (H-G/G) x 100			
<b>Pea: Peso específico aparente Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>PeSSS: Peso específico Saturado Superficialmente Seco Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Pen: Peso específico nominal Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Abs: Absorción Promedio (%)</b>			

*Fuente: Base de Datos, Elaboración Propia*

- Para determinar el peso específico y absorción del agregado fino se utilizaron las ecuaciones:

**Ecuación N° 9: Peso Específico de Masa**

$$P.E.M. = \frac{E}{F + S - G}$$

**Ecuación N° 10: Peso Específico S.S.S.**

$$P.E.S.S.S. = \frac{S}{F + S - G}$$

**Ecuación N° 11: Peso Específico Aparente**

$$P.E.A. = \frac{E}{F + E - G}$$

**Ecuación N° 12: Absorción**

$$Abs (\%) = \frac{S - E}{E} * 100$$

Donde:

E: Peso en el aire de la muestra seca al horno (gf)

F: Peso de Fiola + Agua (cm<sup>3</sup>)

G: Peso de Fiola + la muestra + Agua (gf).

S: Peso de la Muestra Saturada (gf).

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 17**.

**Tabla N° 17: Formato de Peso Específico del Agregado Fino**

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO			
Parámetros	m1	m2	m3
A = Peso tara (gf)			
B = Peso Fiola (gf)			
C = P. Fiola + Muestra (gf)			
D = P. Seco + P. Tara (gf)			
E = (C-B): P. Muestra Seca (gf)			
F = P. Fiola + Agua (cm <sup>3</sup> )			
G = P. Fiola + P. Muestra + Agua (gf)			
S = P. Muestra Saturada (gf)			
Peso específico aparente = $E/(F+E-G)$			
Peso específico saturado superficialmente seco = $S/(F+S-G)$			
Peso específico de masa = $E/(F+S-G)$			
Absorción (%) = $(S-E/E) \times 100$			
<b>Pea: Peso específico aparente Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>PeSSS: Peso específico Saturado Superficialmente Seco Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Pen: Peso específico nominal Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Abs: Absorción Promedio (%)</b>			

*Fuente: Base de Datos, Elaboración Propia*

- **Peso unitario bajo la norma NTP 400.017:2011.**

La cantidad mínima de material utilizado para el agregado fino, grueso y de concreto reciclado es de 8000 gramos. El molde utilizado se determinó según el tamaño máximo nominal del agregado tal como se muestra en la **Tabla N° 18**.

**Tabla N° 18: Capacidad del molde**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Capacidad de la medida	
mm	Pulgadas	L (m <sup>3</sup> )	p <sup>3</sup>
12.5	1/2	2.8 (0.0028)	0
25.0	1	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	1 1/2	14.0 (0.014)	1/2
75.0	3	28.0 (0.028)	1
112.0	4 1/2	70.0 (0.070)	2 1/2
150.0	6	100.0 (0.100)	3 1/2

*Fuente: NTP 400.017:2011, Elaboración Propia*

- Las características del molde para realizar el ensayo se establecen en la norma NTP 400.017:2011 y se muestra en la **Tabla N° 19**.

**Tabla N° 19:** Requisitos para los recipientes de medida

Espesor del metal (mínimo)			
Capacidad de medida	Fondo	Sobre 1 1/2" o 38 mm de pared	Espesor adicional
<b>Menos de 0.4 p3</b>	0.20 "	0.10 "	0.10 "
De 0.4 a 1.5 p3, incluido	0.20 "	0.20 "	0.12 "
Sobre 1.5 a 2.8 p3, incluido	0.40 "	0.25 "	0.15 "
Sobre 2.8 a 4.0 p3, incluido	0.50 "	0.30 "	0.20 "
<b>Menos de 11 L</b>	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
11 a 42 L, incluido	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm
Sobre 43 a 80 L, incluido	10.0 mm	6.4 mm	3.8 mm
Sobre 80 a 133 L, incluido	13.0 mm	7.6 mm	5.0 mm

**Fuente:** NTP 400.017:2011, Elaboración Propia

- El peso unitario suelto seco y compacto del agregado fino, grueso y de concreto reciclado se calculó con la ecuación:

**Ecuación N° 13:** Peso unitario del agregado

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Peso Unitario del agregado en  $kgf/m^3$ .

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en  $kgf$ .

T = Peso del recipiente de medida en  $kgf$ .

V = Volumen del molde en  $m^3$ .

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 20**:

**Tabla N° 20:** Formato de Peso Unitario Seco Suelto y Compacto

PESO UNITARIO SECO SUELTO Y COMPACTO			
Parámetros	Agregado		
	m1	m2	m3
T= Peso recipiente (kgf)			
V= Volumen recipiente ( $m^3$ )			
G= P. Recipiente + P. Muestra (kgf)			
Peso unitario = (G-T)/V			
<b>Peso unitario Promedio (<math>kgf/m^3</math>)</b>			

**Fuente:** Base de Datos, Elaboración Propia

- **Contenido de Vacíos**

- Se determinó el contenido de vacíos del agregado fino, grueso y de concreto reciclado según la ecuación:

**Ecuación N° 14: Contenido de Finos**

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{(A * W) - B}{(A * W)} * 100$$

Donde:

A = Peso Específico Aparente (gf/cm<sup>3</sup>).

B = Peso Unitario Seco (kgf/cm<sup>3</sup>).

W = Peso Unitario Agua (kgf/cm<sup>3</sup>).

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 21**.

**Tabla N° 21: Formato de contenido de vacíos**

CONTENIDO DE VACÍOS			
Parámetros	Agregado		
	m1	m2	m3
W = P. Unitario agua (kgf/cm <sup>3</sup> )			
A = P. Específico aparente (gf/cm <sup>3</sup> )			
B = P. Unitario seco (kgf/cm <sup>3</sup> )			
% de vacíos = ((A x W)-B/(A x W)) x 100			
<b>Promedio de contenido de vacíos (%)</b>			

*Fuente: Base de Datos, Elaboración Propia*

- **Contenido de Finos bajo la norma NTP 400.018:2013.**

La cantidad mínima de material utilizado para el agregado fino es de 300 gramos, para el agregado grueso es de 2500 gramos y para el agregado reciclado es de 2500 gramos como lo indica la norma y se determinó con la ecuación:

**Ecuación N° 15: Contenido de Finos**

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de 75µm (N°200) por vía húmeda.

P<sub>1</sub> = Peso seco de la muestra original (gf).

P<sub>2</sub> = Peso seco de la muestra luego del lavado (gf).

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 22**:

**Tabla N° 22:** Formato de contenido de finos

CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA #200			
Parámetros	Agregado		
	m1	m2	m3
A = Peso muestra seca sin lavar (gf)			
B = Peso muestra seca lavada (gf)			
<b>% de material fino = ((A-B)/A) x 100</b>			
<b>Contenido de Finos Promedio (%)</b>			

*Fuente: Base de Datos, Elaboración Propia*

#### b) Ensayos Mecánicos

- **Resistencia al desgaste bajo la norma NTP 400.019:2002.**

La cantidad mínima de material utilizado para el agregado grueso y de concreto reciclado es de 5000 gramos como lo indica la norma y se determinó con la ecuación:

**Ecuación N° 16:** Porcentaje de desgaste

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Peso inicial (Pa)} - \text{Peso final (Pb)}}{\text{Peso inicial (Pa)}} * 100$$

- El número de esferas utilizadas para el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles se establece en la norma NTP 400.019:2002 y es de acuerdo al método seleccionado para el procedimiento según la granulometría del material. Debido a la granulometría de los agregados, se seguirá el método B tanto para el agregado grueso como el agregado del concreto reciclado. En la **Tabla N° 23** se muestra el número de esferas de acero que se deben introducir en la máquina de Los Ángeles.

**Tabla N° 23:** Número de esferas por gradación

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga
A	12	5000 ± 25 grs
B	11	4584 ± 25 grs
C	8	3330 ± 20 grs
D	6	2500 ± 15 grs

*Fuente: NTP 400.019:2002, Elaboración Propia*

- De acuerdo al método seleccionado para realizar el ensayo de resistencia al desgaste, se establecen las masas que se deben considerar. Debido a la granulometría de los agregados, se seguirá el método B tanto para el agregado grueso como el agregado del concreto reciclado. En la **Tabla N° 24** se muestra la gradación de las muestras para el ensayo.

**Tabla N° 24:** Gradación de las muestras

Medida del Tamiz		Masa de tamaño indicado (grs.)			
Que Pasa	Retenido	Gradación			
		A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N°4			2500 ± 10	5000 ± 10
<b>Total</b>		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

**Fuente:** NTP 400.019:2002, Elaboración Propia

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 25**.

**Tabla N° 25:** Formato de Resistencia a la abrasión

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN			
Parámetros	A. GRUESO		
	m1	m2	m3
A = Peso tara (gf)			
B = P. Muestra seca + P. Tara (gf)			
C = P. Muestra tamiz N°12 + P. Tara (gf)			
Pa = (B-A): P. Muestra seca (gf)			
Pb = (C-A): P. Muestra tamiz N°12 (gf)			
% de desgaste = ((Pa-Pb)/Pa) x 100			
<b>Desgaste promedio (%)</b>			

**Fuente:** Base de Datos, Elaboración Propia

### c) Ensayos Químicos

- **Durabilidad a los sulfatos bajo la norma NTP 400.016:2011.**

La cantidad mínima de material utilizado para el agregado grueso y de concreto reciclado es de 5000 gramos como lo indica la norma y se determinó según las ecuaciones:

**Ecuación N° 17:** Durabilidad al sulfato (% de pérdida)

$$\text{Pérdida total (\%)} = \frac{P. \text{ de la fracción ensayada} - P. \text{ ret. después del ensayo}}{P. \text{ de la fracción ensayada}} * 100$$

**Ecuación N° 18:** Corrección Durabilidad al sulfato (% de pérdida)

$$\text{Pérdida corregida (\%)} = \frac{\text{Grad. original} - \text{Pérdida total}}{100}$$

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 26**.

**Tabla N° 26:** Formato de durabilidad de sulfatos de los agregados.

Durabilidad de sulfato de magnesio del agregado grueso y reciclado						
Fracción		Gradación Original (%)	Peso de la fracción ensayada (gf)	Peso retenido después del ensayo (gf)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
Pasa	Retiene					
Total						

*Fuente:* Base de Datos, Elaboración Propia

#### 4.2. Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla se realizó siguiendo los pasos que se indica en el diseño de concreto de la norma ACI 211:

- Se ha determinado la cantidad de agua de amasado y el contenido de aire según el tamaño máximo del agregado y el asentamiento como se indica en la **Tabla N° 27**.

**Tabla N° 27:** Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes slump, tamaño de agregado y contenido de aire.

Asentamiento	Tamaño máximo de agregado								
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"	
<b>Concreto sin aire incorporado</b>									
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113	
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124	
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---	
%Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2	
<b>Concreto con aire incorporado</b>									
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107	
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119	
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---	
<b>% de Aire incorporado en función del grado de exposición</b>									
Normal	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	
Moderada	8.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	
Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	

*Fuente:* (Pasquel, 1999), Elaboración Propia

- En esta investigación no se ha diseñado la mezcla por resistencia alcanzada a 28 días, sino por relaciones agua/cemento, basándose en investigaciones anteriores se escogieron 3 relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) con las cuales se puede determinar la

resistencia a compresión de diseño que puede alcanzar al someter el concreto a 28 días de curado y así determinar cuál sería la más óptima para aplicaciones estructurales y no estructurales. Al no diseñarse por resistencia, no se utilizaron los factores de seguridad de resistencia descritos en el diseño de mezcla de la norma ACI 211.

- En la **Tabla N° 28** se muestra la resistencia de diseño alcanzada a 28 días de curado, según la relación agua/cemento elegida para el diseño de la mezcla.

**Tabla N° 28:** Relación Agua/Cemento vs  $f'c$ .

$f'c$ a 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua/Cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.42	---
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

**Fuente:** (Pasquel , 1999), *Elaboración Propia*

- Se ha determinado el volumen de agregado grueso compactado en seco según el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo de agregado. (ver **Tabla N° 29**).

**Tabla N° 29:** Volumen de agregado grueso compactado en seco por metro cúbico de concreto.

Tamaño Máximo de agregado	Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

**Fuente:** (Pasquel , 1999), *Elaboración Propia*

- Se ha determinado la cantidad de agregado grueso y de concreto reciclado ( $\text{kgf/m}^3$ ) y para ello se utilizó la ecuación:

**Ecuación N° 19: Cantidad de Agregado**

$$\text{Cant. Agregado} = \text{PUCS} * \text{Factor (tabla N°29)}$$

- Se ha determinado el volumen de agregado grueso y de concreto reciclado ( $\text{m}^3$ ) y para ello se utilizó la ecuación:

**Ecuación N° 20: Volumen de Agregado**

$$\text{Volumen de Agregado} = \frac{\text{Cant. Agregado}}{\text{Peso Específico}}$$

- Se ha determinado el volumen del agregado fino según el criterio de balance de volumen absoluto y para ello se utilizó la ecuación:

**Ecuación N° 21: Volumen de Agregado Fino**

$$\text{Volumen de agregado fino} = 1 - (A. G. + A. R. + \text{Agua} + \text{Aire} + \text{Cemento})$$

- Se corrigió la cantidad de agregados según el contenido de humedad y para ello se utilizó la ecuación:

**Ecuación N° 22: Corrección de agua por humedad**

$$\text{Corrección de cantidad de agregados} = \text{Cant. Agregado} * \left(1 + \frac{\text{Cont. Humedad}}{100}\right)$$

- Se corrigió la cantidad de agua según y para ello se utilizó la ecuación:

**Ecuación N° 23: Corrección de agua por absorción**

$$\text{Corrección de cantidad de agua} = \text{Cant. Agregado} * \left(\frac{\text{Cont. Humedad} - \text{Absorción}}{100}\right)$$

- Se ha elaborado el diseño de mezcla por cada relación agua/cemento según la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido y se ordena en la **Tabla N° 30**.

**Tabla N° 30: Formato de diseño de mezcla final.**

RELACION A/C =					
Parámetros	0%	15%	30%	45%	60%
<b>I. Relación Agua/Cemento (a/c)</b>					
R a/c					
<b>II. Volumen unitario de agua: Asentamiento = 3" - 4"</b>					
Agua ( $\text{Lt/m}^3$ )					
<b>III. Cantidad de cemento</b>					
Kgf/ $\text{m}^3$					
Bolsas					

<b>IV. Cantidad de agregados</b>
P.U.C.S. - A.G. (Kgf/m <sup>3</sup> )
Factor
Cantidad A.G. por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )
Cantidad A.R. por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )
<b>V. Cantidad de agregado fino</b>
Volumen A. Grueso (m <sup>3</sup> )
Volumen A. Reciclado (m <sup>3</sup> )
Volumen Agua (m <sup>3</sup> )
Volumen Aire (m <sup>3</sup> )
Volumen Cemento (m <sup>3</sup> )
Suma de volúmenes (m <sup>3</sup> )
Volumen A. Fino (m <sup>3</sup> )
Cantidad por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )
<b>VI. Resumen de cantidad de agregados por m<sup>3</sup></b>
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )
Agregado Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )
Agregado Reciclado (kgf/m <sup>3</sup> )
Agregado Fino (kgf/m <sup>3</sup> )
<b>VII. Corrección por contenido de humedad en agregados</b>
Agregado Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )
Agregado Reciclado (kgf/m <sup>3</sup> )
Agregado Fino (kgf/m <sup>3</sup> )
<b>VIII. Corrección de cantidad de agua</b>
Agregado Grueso (Lt/m <sup>3</sup> )
Agregado Reciclado (Lt/m <sup>3</sup> )
Agregado Fino (Lt/m <sup>3</sup> )
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )
<b>IX. Diseño Final para 1m<sup>3</sup></b>
Agua (Kgf)
Cemento (Kgf)
Agregado Grueso (Kgf)
Agregado Reciclado (Kgf)
Agregado Fino (Kgf)
Plastificante (Kgf)
TOTAL

*Fuente: Base de Datos, Elaboración Propia*

- Se determinó el material a utilizar para la elaboración de las probetas de 4"x8" y se ordena en la **Tabla N° 31**.

**Tabla N° 31:** Formato de diseño final para probetas de 4"x8"

Parámetros	0%	15%	30%	45%	60%
<b>X. Diseño Final para probetas cilíndricas de 4" x 8"</b>					
Factor de conversión					
Agua (Kgf)					
Cemento (Kgf)					
Agregado Grueso (Kgf)					
Agregado Reciclado (Kgf)					
Agregado Fino (Kgf)					
Plastificante (Kgf)					
<b>TOTAL</b>					

*Fuente: Base de Datos, Elaboración Propia*

#### 4.3. Ensayos del concreto

##### a) Ensayos en Concreto Fresco

- **Prueba de Asentamiento del Concreto bajo la norma NTP 339.035:2009**

- Se ha determinado el asentamiento en el concreto fresco para cada relación agua/cemento según la cantidad de agregado de concreto reciclado y se anotaron los resultados con aproximación de 0.5" en la **Tabla N° 32**.

**Tabla N° 32:** Formato de asentamiento del concreto fresco

ASENTAMIENTO			
Ra/c =	0.55	0.65	0.70
0%			
15%			
30%			
45%			
60%			

*Fuente: Base de Datos, Elaboración Propia*

- **Temperatura bajo la norma NTP 339.184:2013**

- Se ha tomado la temperatura en el concreto fresco para cada relación agua/cemento según la cantidad de agregado de concreto reciclado durante el ensayo de peso unitario del concreto y se anotaron los resultados en la **Tabla N° 33**.

**Tabla N° 33:** Formato de temperatura del concreto fresco

TEMPERATURA			
Ra/c =	0.55	0.65	0.70
0%			
15%			
30%			
45%			
60%			

**Fuente:** Base de Datos, Elaboración Propia

- **Peso Unitario bajo la norma NTP 339.046:2008**

La muestra representativa fue obtenida por medio del muestreo estándar de acuerdo con la norma ASTM C172 según el tamaño máximo nominal del agregado grueso o de concreto a utilizar. Además, el método de consolidación de la muestra depende del revenimiento del concreto. La **Tabla N° 34** muestra el volumen del medidor con medidas estándar a utilizar según el tamaño máximo nominal del agregado.

**Tabla N° 34:** Volumen del medidor según el tamaño máximo nominal del agregado (mm)

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Volumen del medidor (L)
25	6
37.5	11
50	14
75	28
112	70
150	100

**Fuente:** (ASTM C138, s.f.)

- El peso unitario del concreto se calculó con la ecuación:

**Ecuación N° 24:** Peso unitario del agregado

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Peso Unitario del concreto en  $kgf/m^3$ .

G = Peso del recipiente de medida más el concreto en  $kgf$ .

T = Peso del recipiente de medida en  $kgf$ .

V = Volumen de la medida en  $m^3$ .

- Se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 35:**

**Tabla N° 35:** Formato de Peso Unitario Seco Suelto y Compacto

PESO UNITARIO			
Parámetros	m1	m2	m3
T= Peso recipiente (Kgf)			
V= Volumen recipiente (m <sup>3</sup> )			
G= P. Recipiente + P. Muestra (Kgf)			
Peso unitario = (G-T)/V			
<b>Peso unitario Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>			

*Fuente:* Base de Datos, Elaboración Propia

**b) Ensayos en Concreto Endurecido**

- **Ensayo de Resistencia a compresión bajo la norma NTP 339.034:2008.**

Una vez que se sometieron las probetas de concreto a determinados días de curado (3 días, 7 días y 28 días), se ensayaron a resistencia a compresión y se ordenaron los resultados obtenidos del ensayo en la **Tabla N° 36**.

**Tabla N° 36:** Formato de resistencia a compresión

Resistencia a compresión			
Curado	3 Días	7 Días	28 Días
R a/c =			
0%			
15%			
30%			
45%			
60%			

*Fuente:* Base de Datos, Elaboración Propia

- La resistencia a compresión de las probetas de concreto se determinó según la ecuación:

**Ecuación N° 25:** Resistencia a compresión

$$f'c = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}}$$

- **Ensayo de succión capilar (IRAM 1871:2004)**

Se registraron los incrementos de peso de las probetas de concreto de 4"x2" en intervalos regulares de tiempo (0.5h, 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h, 24h, 48h y 72h) hasta que el incremento resulte menor a 0,1 % en peso de la muestra y se ordenaron en la **Tabla N° 37**:

**Tabla N° 37:** Formato de capacidad de succión capilar

		Ra/c =						
A.R.		0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)								
Área (m <sup>2</sup> )								
Martes (15:30)								
Martes (16:00)								
Martes (16:30)								
Martes (17:30)								
Martes (18:30)								
Martes (19:30)								
Martes (20:30)								
Martes (21:30)								
Miércoles (15:30)								
Jueves (15:30)								
Viernes (15:30)								

**Fuente:** Base de Datos, Elaboración Propia

En la **Tabla N° 38** se ordenan los resultados obtenidos de la velocidad de succión capilar.

**Tabla N° 38:** Formato de la velocidad de succión capilar

		Velocidad (g/(m <sup>2</sup> ·s <sup>1/2</sup> ))		
Ra/c =		0.55	0.65	0.70
0%				
15%				
30%				
45%				
60%				

## CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es cuasi experimental ya que las variables independientes (relaciones agua/cemento y cantidad de agregado reciclado) van a influir directamente en el comportamiento de la variable dependiente (propiedades de un concreto convencional), teniendo éstas una relación directa, para lo cual se designarán grupos de estudio y grupos de control, los mismos que se compararán y se determinará la mejor solución para el problema. El diseño Cuasi experimental tendrá el esquema de la **Tabla N°39**:

**Tabla N° 39:** Esquema de diseño cuasi experimental

Grupo	Asignación	Pre Prueba	Tratamiento	Post prueba
GE:		O1	X	O2
GC:		O3	-	O4

**Fuente:** (UPN, 2014)

Dónde:

GE: Grupo estudio

GC: Grupo control

O1, O3: Pre test

O2, O4: Post test

En esta investigación se aplicó el tipo bifactorial puesto que tenemos dos variables independientes: las relaciones agua/cemento y la cantidad de agregado reciclado.

### 5.2. Unidad de estudio

Concreto convencional.

### 5.3. Población

Concreto convencional elaborado con agregados reciclados de Trujillo – La Libertad.

### 5.4. Muestra

#### 5.4.1. Determinación de la muestra

La determinación de la muestra es no probabilística ya que se elegirá la muestra que sea accesible para el investigador y se utilizará un muestreo de juicio experto en el que el investigador acudirá a su asesor: el Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz. Siendo eso así, se realizará según como la norma técnica peruana lo indica; es decir, se realizarán como mínimo 3 réplicas de 2 probetas hermanas para obtener resultados más precisos.

- **Variable Independiente (V.I.)**

- a) **Cantidad de agregado reciclado (A)**

- a1: 0% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
- a2: 15% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
- a3: 30% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
- a4: 45% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.
- a5: 60% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.

- b) **Relaciones agua/cemento (B)**

- b1: R a/c = 0.55
- b2: R a/c = 0.65
- b3: R a/c = 0.70

- **Variable Dependiente (V.D.)**

- a) **Propiedades del Concreto convencional (C)**

- En estado endurecido:
  - \* c1: Resistencia a compresión.
  - \* c2: Permeabilidad por succión capilar.

**Ecuación N° 26: Número de muestras**

$$n^{\circ} \text{ muestras} = (V.I._A \times N^{\circ} \text{ niveles } A) \times (V.I._B \times N^{\circ} \text{ niveles } B)$$

$$n^{\circ} \text{ muestras} = (1 \times 5) \times (1 \times 3)$$

$$n^{\circ} \text{ muestras} = 15 \text{ muestras.}$$

**Ecuación N° 27: Número de ensayos**

$n^{\circ} \text{ ensayos}$

$$= [n^{\circ} \text{ muestras} \times (V.D._C \times N^{\circ} \text{ niveles } C \times N^{\circ} \text{ Sub niveles } C)] \times n^{\circ} \text{ réplicas}$$

$$n^{\circ} \text{ ensayos} = [15 \times [1 \times ((3 \times 6) + (1 \times 2))]]$$

$$n^{\circ} \text{ ensayos} = 300 \text{ ensayos}$$

Se han desarrollado seis réplicas para el ensayo de resistencia a compresión y 2 réplicas para permeabilidad por succión capilar, sumando dieciocho (18) muestras para el ensayo de resistencia a compresión y dos (2) muestras para el ensayo de permeabilidad por succión capilar según cada cantidad añadida de agregado reciclado por cada relación agua/cemento. En conclusión, se realizarán 300 probetas cilíndricas de concreto de 4"x8", de las cuales 270 fueron para realizar el ensayo de resistencia a compresión y 30 para realizar el ensayo de permeabilidad por succión capilar.

En la **Tabla N°40** se muestra la población muestral de la investigación, siendo necesaria la fabricación de 300 probetas cilíndricas de 4"x8".

**Tabla N° 40: Población muestral**

Cantidad de Agregado Reciclado	0%	15%	30%	45%	60 %
Resistencia a compresión					
Días de curado			R a/c = 0.55		
3 días	6	6	6	6	6
7 días	6	6	6	6	6
28 días	6	6	6	6	6
Días de curado			R a/c = 0.65		
3 días	6	6	6	6	6
7 días	6	6	6	6	6
28 días	6	6	6	6	6
Días de curado			R a/c = 0.70		
3 días	6	6	6	6	6
7 días	6	6	6	6	6
28 días	6	6	6	6	6
Subtotal	54	54	54	54	54
Permeabilidad por succión capilar					
Subtotal	6	6	6	6	6
Total	300				

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

#### 5.4.2. Diseño de contrastación

Para el desarrollo de la investigación, los investigadores evaluarán las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agregado grueso, fino y reciclado. Posteriormente diseñará mezclas para las tres relaciones agua/cemento planteadas (0.55, 0.65, 0.70) teniendo un diseño patrón sin modificar el agregado a 0% y tres diseños en los que se modificará el agregado, siendo añadido agregado reciclado en su reemplazo en un 15%, 30%, 45% y 60% en peso del agregado grueso.

Los investigadores evaluarán las propiedades del concreto en estado fresco: asentamiento, temperatura y peso unitario. Una vez elaborados los especímenes de concreto se someterán a un proceso de curado durante 3, 7 y 28 días para evaluar las propiedades del concreto en estado endurecido más importantes, la resistencia a compresión y permeabilidad por succión capilar solo a 28 días.

Finalmente, los investigadores analizarán los resultados obtenidos por métodos estadísticos. Los métodos utilizados serán los que defina la Norma Técnica Peruana y se utilizarán gráficos de barras como instrumento para visualizar y analizar mejor los resultados obtenidos. En la **Tabla N°41** se muestra la matriz de diseño según las variables de la investigación.

**Tabla N° 41: Matriz de Diseño.**

Parámetros		B					
		b1		b2		b3	
		C					
		c1	c2	c1	c2	c1	c2
A	a1	a1b1c1	a1b1c2	a2b1c1	a2b1c2	a3b1c1	a3b1c2
	a2	a1b2c1	a1b2c2	a2b2c1	a2b2c2	a3b2c1	a3b2c2
	a3	a1b3c1	a1b3c2	a2b3c1	a2b3c2	a3b3c1	a3b3c2
	a4	a1b4c1	a1b4c2	a2b4c1	a2b4c2	a3b4c1	a3b4c2
	a5	a1b5c1	a1b5c2	a2b5c1	a2b5c2	a3b5c1	a3b5c2

**Fuente:** *Elaboración propia, 2018.*

Donde:

A = Cantidad de Agregado Reciclado

a1: 0% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.

a2: 15% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.

a3: 30% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.

a4: 45% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.

a5: 60% de agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso.

B = Relaciones agua/cemento

b1:  $Ra/c = 0.55$

b2:  $Ra/c = 0.65$

b3:  $Ra/c = 0.70$

C = Propiedades del Concreto convencional

c1: Resistencia a Compresión

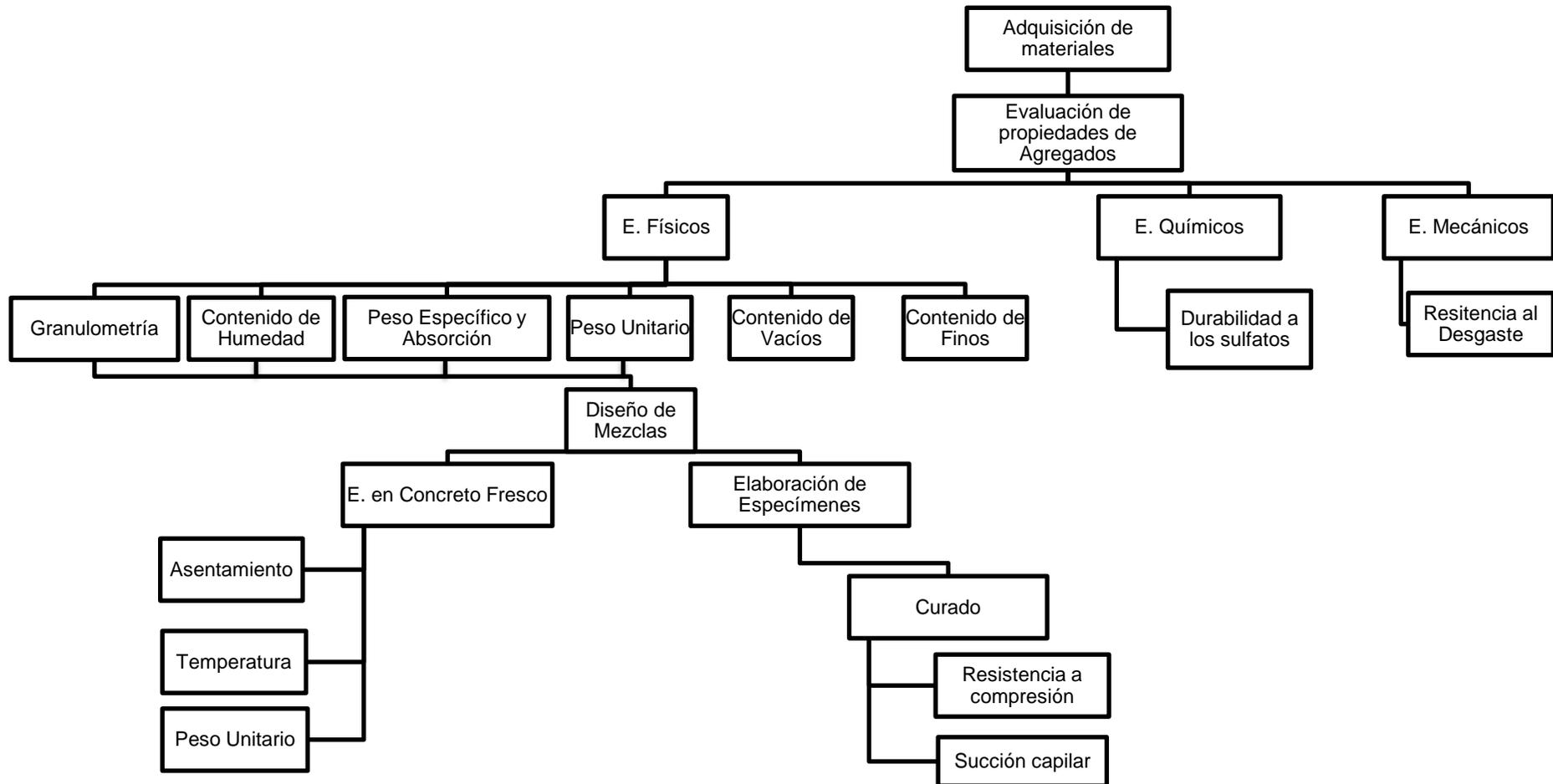
c2: Permeabilidad por succión capilar

## 5.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

### 5.5.1. Procedimiento experimental

La **Tabla N°42** representa la secuencia experimental que se realizará en la investigación.

**Tabla N° 42:** Secuencia experimental



*Fuente:* Elaboración propia, 2018

### 5.5.1.1. Evaluación de propiedades del Agregado Grueso, Fino y Reciclado

#### a) Ensayos Físicos

- **Granulometría (NTP 400.012:2013):** (INDECOPI C. d., 2013)

Para tomar la muestra de agregado se hará de acuerdo a la NTP 400.010:2001 y el procedimiento se llevará a cabo cuando la muestra esté seca.

En primer lugar, la muestra se deberá secar la estufa por  $24 \pm 4$  horas hasta llegar a peso constante a una temperatura de  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ , se seleccionan los tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones del material a ser ensayado. Luego, se pesan los tamices y encajan en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo, se coloca la muestra sobre el tamiz superior y se agita durante 5 minutos, girando cada 25 movimientos para distribuir mejor el agregado. Finalmente, se pesan las mallas con la muestra y así obtener la cantidad retenida en cada una de ellas.

- **Contenido de Humedad (NTP 339.185:2013):** (INDECOPI, 2013)

En primer lugar, se pesará el recipiente donde se pondrá la muestra y se secará el horno a  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$  una muestra representativa definida según el tamaño del agregado durante 24 horas. Finalmente se pesa después de secarse.

- **Peso Específico (NTP 400.021:2013 y NTP 400.022:2013):** (INDECOPI, 2002)

Para el agregado grueso: En primer lugar, se pesa el recipiente que se va a utilizar y se seca una muestra representativa de agregado a  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$  por  $24 \pm 4$  horas hasta obtener peso constante. Luego se sumerge la muestra en agua potable durante  $24 \pm 4$  horas para obtener el peso saturado. Luego, se elimina el exceso de agua existente en la superficie utilizando una tela absorbente y el material pasante por el tamiz N° 4, se vuelve a pesar y se coloca en una canastilla introducida en un balde con agua a  $23 \pm 2^{\circ} \text{C}$ , removiendo para eliminar el aire dentro. Finalmente se determina el peso suspendido, se seca en el horno a  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$  y se pesa la muestra seca.

Para el agregado fino: En primer lugar, se seca una muestra representativa de agregado a  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$  por  $24 \pm 4$  horas hasta obtener peso constante. Luego se sumerge en agua potable durante  $24 \pm 4$  horas. Para obtener el peso saturado se coloca la muestra anteriormente sumergida en agua, en una bandeja metálica y se seca con ayuda de una estufa hasta que, después de utilizar el cono y apisonar 25 veces en 3 capas, el material no se desplace en más de  $1/3$  respecto a su altura. Cuando el material cumpla ese requisito se

asumirá que está en estado superficialmente seco. Luego se introducirá en el picnómetro  $500g \pm 10g$  de este material preparado, se adiciona agua hasta un 90% de su capacidad, se agita el picnómetro para eliminar las burbujas visibles, se adiciona más agua hasta llegar a la capacidad de calibración y se pesa. Posteriormente se seca en el horno a  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$  por  $24 \pm 4$  horas hasta obtener peso constante, se deja enfriar a temperatura ambiente durante  $1h \pm 1/2h$  y se determina la masa.

- **Absorción (NTP 400.021:2013):** (INDECOPI, 2002)  
En primer lugar, se seca la muestra en el horno a  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$  durante 24 horas y posteriormente se sumerge en agua durante 24 horas.
- **Peso Unitario (NTP 400.017:2011):** (INDECOPI, 2011)  
La muestra de ensayo será de aproximadamente 125% a 200% de la cantidad requerida para llenar la medida y será manipulada evitando su segregación. El procedimiento a seguir para este ensayo será determinado por el procedimiento de apisonado para agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 37.5mm (1 ½”) o menos.  
En primer lugar, se secará el agregado a peso constante en un horno preferiblemente a  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ . Luego, se apisonará con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie y 15 golpes con un martillo de goma por fuera del recipiente, en 3 capas, siendo adicionado el agregado desde una altura no mayor de 50mm (2”) por encima de la parte superior del recipiente. Finalmente, se elimina el material sobrante con la barra compactadora utilizada como regla.
- **Contenido de vacíos:** para determinarlo se necesita los datos del peso unitario, el peso específico aparente y el peso específico del agua.
- **Contenido de Finos (NTP 400.018:2013)** (INDECOPI C. d., 2013)  
En primer lugar, una muestra representativa deberá ser lavada y secada al horno hasta obtener peso constante a  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$  durante  $24 \pm 4$  horas. Colocar la muestra en un recipiente y adicionar agua suficiente para cubrirla, agitar la muestra vigorosamente con la finalidad de separar las partículas más finas que pasan el tamiz N°200 de las partículas gruesas y decantar la muestra. Repetir el procedimiento hasta que el agua de lavado esté clara. Luego, retomar el material del tamiz mediante un chorro de agua, secar el agregado lavado a una temperatura de  $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$  durante  $24 \pm 4$  horas para obtener peso constante y determinar la masa con aproximación a 0.1% de la masa original de la muestra.

## b) Ensayos Mecánicos

- **Resistencia al desgaste (NTP 400.019:2002)** (INDECOPI, 2002)

En primer lugar, una muestra representativa deberá ser lavada y secada al horno hasta obtener peso constante a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante  $24 \pm 4$  horas. Elegir el método de ensayo según la granulometría del agregado grueso, separar en fracciones individuales según el método elegido, recombinar la gradación y registrar la masa de la muestra previamente al ensayo en una balanza con aproximación a 1 gramo. Luego, se colocará la muestra en la máquina de abrasión de Los Ángeles a una velocidad de rotación entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Una vez que llega al número de revoluciones, se pasará la muestra por el tamiz N° 12 (1.7mm), se pesará y lavará el material. Finalmente, el material se secará en el horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta obtener peso constante y se determinará la masa con una aproximación de 1 gramo.

## c) Ensayos Químicos

- **Durabilidad a los sulfatos (NTP 400.016:2011)** (INDECOPI, 2011)

Para la realización de este ensayo existen dos tipos de soluciones, sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este ensayo se realiza con la solución de sulfato de magnesio, debido a que el sulfato de sodio es un insumo fiscalizado.

La solución de sulfato de magnesio se prepara disolviendo 1.4 kg de sulfato de magnesio en 1 litro de agua destilada.

Para el agregado fino: Se tamiza el material por la malla de 3/8" con la finalidad de obtener 100 gramos como mínimo de cada material retenido en los tamices N°4, N°8, N°16, N°30 y N°50.

Para el agregado grueso: Se tamiza el material para eliminar todas las partículas con tamaños menores a las que pasan la malla N°4, se selecciona una cantidad de 5 kg y se tamiza por mallas seleccionadas de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado.

Todo el material debe ser lavado y secado al horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante  $24 \pm 4$  horas. Después de retirar el material del horno se debe de sumergir en la solución preparada por un periodo de  $16\text{h} \pm 2\text{h}$ , Luego, se debe retirar el material y dejar escurrir por 15 minutos para secar el material en el horno. Posteriormente se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa en periodos no mayor a 4 horas hasta obtener un peso constante con una diferencia de 0.1 gramos para el agregado fino y 1.0 gramos para el agregado grueso.

### 5.5.1.2. Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla se realiza siguiendo los pasos que se indica en el diseño de concreto simple en la norma ACI 211.

### 5.5.1.3. Ensayos del concreto

#### a) Ensayos en Concreto Fresco

- **Prueba de Asentamiento del Concreto (NTP 339.035:2009)** (INDECOPI, 2009)

En primer lugar, se debe calcular el peso de los materiales a utilizar según el diseño de mezcla. Luego, pesar el material sólido, mezclar en una batea durante 2 minutos y agregar el agua a emplear de manera lenta, mezclar el concreto a un tiempo de 2 minutos. Para realizar el ensayo primero debemos humedecer el molde y el piso o placa base, ejecutar sobre una superficie rígida no absorbente. Después apoyar firmemente el molde sobre la base colocando y presionando con los dos pies los estribos del molde. Por ningún motivo debe moverse los pies durante el llenado del molde. Llenar el molde en tres capas de igual volumen, la primera capa a una profundidad de 70mm. (25/8 pulgadas) la segunda hasta de 160mm. (61/8 pulgadas) y la tercera hasta el borde superior del molde. Compactar cada capa en toda su profundidad con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones en toda la superficie de cada capa.

Finalmente, levantar el molde por encima de las 12 pulgadas (300 mm) de un solo movimiento sin giros. En un tiempo de  $5 \pm 2$  segundos. Medir con una precisión de  $\frac{1}{4}$  de pulgada (5 mm) el revenimiento, desde la parte superior del molde hasta el centro desplazado de la superficie original del espécimen. Ejecute la prueba, desde su inicio hasta el final sin interrupciones en no más de 2.5 minutos.

- **Temperatura (NTP 339.184:2013)** : (Lanamme, Temperatura del Concreto - Lanamme, 2002)

La muestra se tomará de un concreto recién mezclado según el procedimiento del ensayo ASTM C172. Se sumerge el dispositivo de medición al menos 75mm en la mezcla de concreto. Luego se presiona suavemente el concreto alrededor del vacío que deja la inmersión del aparato hasta cerrarlo con el objetivo de que el aire no afecte el resultado. Se deja el dispositivo en el concreto entre 2 a 5 minutos, luego se lee y se anota la temperatura con aproximación de 0.5°C, sin remover el aparato mientras se hace la lectura.

- **Peso Unitario (NTP339.046:2008):** (Lanamme, Densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire de concreto ASTM C138, s.f.)

La muestra se deposita en el molde y se eliminan los sobrantes por medio de enrazado y se determina el peso de la muestra en el molde. Con estos valores se calcula la densidad. La cantidad de agregados debe ser suficiente para producir un volumen de concreto mayor que el especificado a continuación dependiendo del tamaño máximo del agregado.

#### b) Preparación de Especímenes de Concreto

- **Curado de concreto (NTP 339.033.2009):** (INDECOPI, 2009)

En primer lugar, almacenar los especímenes en una poza de curado a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  usando agua que cumpla con la norma NTP 334.077.

#### c) Ensayos en Concreto Endurecido

- **Ensayo de Resistencia a compresión (NTP 339.034:2008):** (INDECOPI, 2012)

Finalizado el tiempo de curado, se procede al ensayo de compresión de probetas cilíndricas, según la norma NTP 339.034:2008, de la siguiente manera: se toman las medidas promedio de todas las probetas (diámetro y altura), cada probeta fue colocada en la máquina de compresión ELE Internacional, según el orden de codificación impresa en su superficie, se ingresa las dimensiones promedio en milímetros, se aplica la carga hasta que la probeta falle y se registra el resultado reportado por la máquina.

- **Ensayo de succión capilar (IRAM 1871:2004):** (IRAM , 2004)

Una vez efectuado el aserrado, las muestras se impermeabilizan lateralmente, y se secan en estufa a  $50^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante. Luego se procede al ensayo en sí mismo, que consiste en poner la cara de ensayo de las muestras en contacto con agua, con un pelo de agua de 3 mm por sobre la base, y registrar los incrementos de peso en intervalos regulares de tiempo (0,5h; 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h, 24h, 48h, 72 h), hasta que el incremento resulte menor a 0,1 % en peso de la muestra.

## 5.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Para analizar los datos se realizarán cuadros y gráficos estadísticos que permitirán una mejor comprensión e interpretación de los resultados siendo determinados por el promedio o media aritmética de las probetas de prueba por cada ensayo como se indica en la ecuación:

**Ecuación N° 28:** Promedio o media aritmética de datos obtenidos

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética de resultados.

n = número de resultados del ensayo.

$x_i$  = resultados del ensayo.

También, se utilizará la desviación estándar para todos los ensayos realizados para determinar la variabilidad de la distribución. Es necesario conocer la desviación que presentan los datos en su distribución respecto a su media aritmética para poder tener una visión de los datos acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos y en consecuencia, poder tomar decisiones. La desviación estándar se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable y se determina como se indica en la ecuación:

**Ecuación N° 29:** Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

$\sigma$  = desviación estándar de resultados.

$\bar{x}$  = media aritmética de resultados.

n = número de resultados del ensayo.

$x_i$  = resultados del ensayo.

Además, se evaluarán los resultados obtenidos durante los ensayos a las probetas de concreto para determinar si la hipótesis planteada es adecuada mediante un análisis de varianza y prueba de F de Fisher. Antes de hacer el análisis de varianza, se tendrá que evaluar la normalidad, homocedasticidad y regresión de los ensayos.

### 5.6.1. Datos Previos.

#### a) Grados de libertad

- Grados de libertad de la variable cantidad de agregado reciclado (A)

$$G.L. = a - 1$$

- Grados de libertad de la variable relaciones agua/cemento (B)

$$G.L. = b - 1$$

- Grados de libertad de las variables (A) x (B)

$$G.L. = (a - 1) * (b - 1)$$

- Grados de libertad del error.

$$G.L. = (a * b) * (r - 1)$$

Donde:

a = número de niveles de la variable (A).

b = número de niveles de la variable (B).

r = número de réplicas del ensayo.

#### b) Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ), debido a que es un nivel de confianza habitual en investigaciones experimentales, y es un compromiso entre formular premisas con la probabilidad de acertar.

#### c) Criterio de rechazo

Se utiliza la distribución F para evaluar la veracidad de la hipótesis, el valor estadístico de prueba F resultante se compara con un valor tabular de F, este indica el valor máximo del valor estadístico de prueba que ocurriría si la hipótesis nula fuera verdadera, a un nivel seleccionado de significación. Es decir, la F de Fisher es importante en la experimentación porque permite hacer cálculos sobre las varianzas propuestas y lograr determinar si las diferencias mostradas son significativas.

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_0 > F_{\alpha,(n-1),(nx(r-1))}$

- $F_0$  se obtiene experimentalmente.
- $F_{\alpha,(n-1),(nx(r-1))}$  se obtiene mediante tablas estadísticas.

Donde:

n = número de niveles.

r = número de réplicas.

Se establece que:

### 5.6.2. Análisis de Varianza y F de Fisher.

#### a) Suma de cuadrados

- Suma de cuadrados para el factor A.

**Ecuación N° 30:** suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados para el factor B.

**Ecuación N° 31:** suma de cuadrados para el factor B.

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados subtotales

**Ecuación N° 32:** suma de cuadrados subtotales.

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{r} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

**Ecuación N° 33:** suma de cuadrados de la interacción de los factores (AxB)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

- Suma de cuadrados totales

**Ecuación N° 34:** suma de cuadrados totales.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados del error

**Ecuación N° 35:** suma de cuadrados del error.

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

#### b) Media de cuadrados

- Media de cuadrados para el factor A.

**Ecuación N° 36:** media de cuadrados para el factor A.

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

- Media de cuadrados para el factor B.

**Ecuación N° 37:** media de cuadrados para el factor B.

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

- Media de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

**Ecuación N° 38:** media de cuadrados de la interacción de los factores (AxB).

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1)x(b - 1)}$$

- Media de cuadrados del error

**Ecuación N° 39:** media de cuadrados del error.

$$MS_E = \frac{SS_E}{(axb)x(r - 1)}$$

### c) F0 experimental

- F<sub>0</sub> (A).

**Ecuación N° 40:** F<sub>0</sub> del factor A.

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub> (B).

**Ecuación N° 41:** F<sub>0</sub> del factor B.

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub> (A x B)

**Ecuación N° 42:** F<sub>0</sub> del factor AxB.

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### 6.1. Caracterización de Agregados

#### 6.1.1. Caracterización del agregado fino

En la **Tabla N° 43** se muestra los resultados promedios de los ensayos para la caracterización del agregado fino. Además, en la **Figura N° 16** se muestra la gradación del agregado fino en el huso granulométrico dispuesto en la norma NTP 400.037:2014.

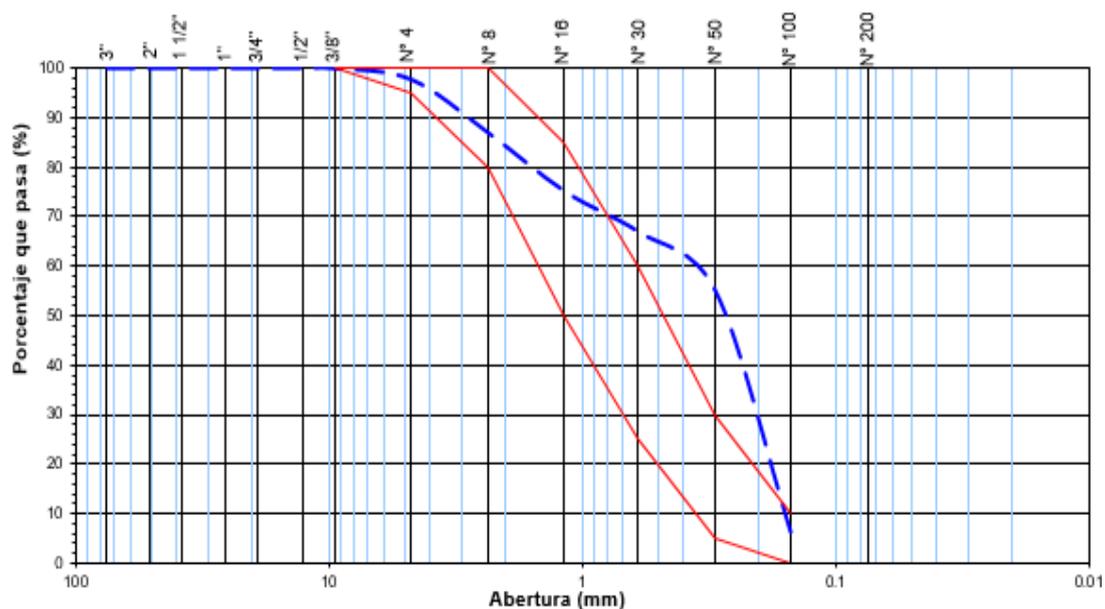
**Tabla N° 43:** Registro promedio de ensayos de caracterización del agregado fino.

Propiedades físicas y mecánicas	Resultado
Módulo de finura (MF)	2.13
% Gravas	2.25
% Arenas	92.22
% Finos	5.53
Humedad (%)	1.02
Peso específico nominal (gf/cm <sup>3</sup> )	2.68
Peso específico aparente (gf/cm <sup>3</sup> )	2.69
Peso específico s.s.s. (gf/cm <sup>3</sup> )	2.68
Peso unitario suelto (kgf/m <sup>3</sup> )	1580
Peso unitario compactado (kgf/m <sup>3</sup> )	1810
Absorción (%)	0.20
Contenido de finos (%)	5.48
Contenido de vacíos (%)	33

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

**Figura N° 16:** Curva granulométrica del agregado fino.

Curva Granulométrica  
(Agregado Fino) - (Cantera Huanchaco)



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### 6.1.2. Caracterización del agregado grueso

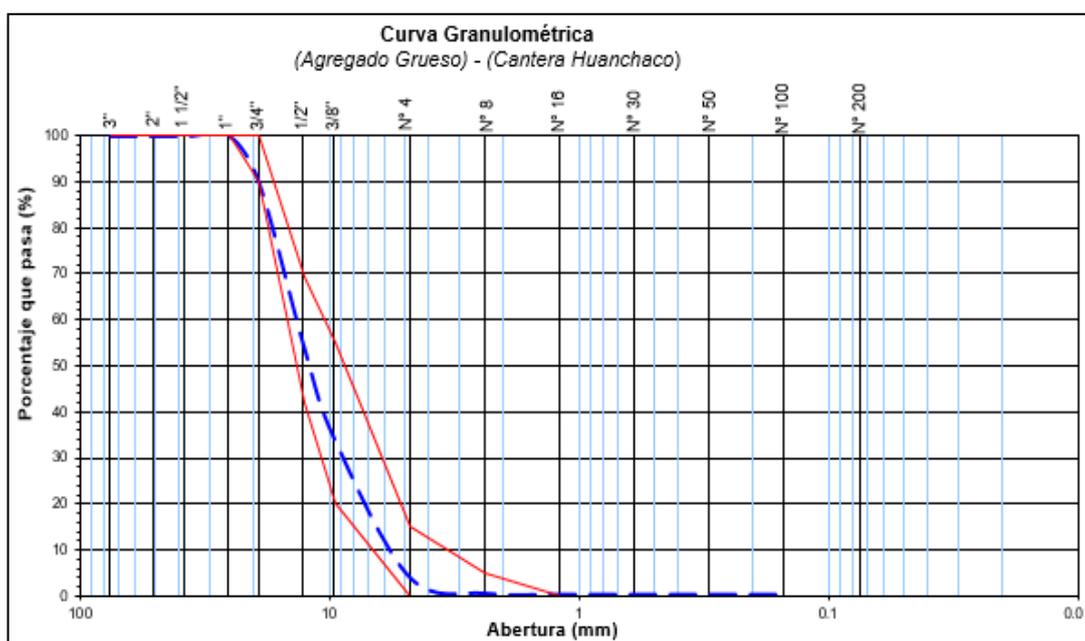
En la **Tabla N° 44** se muestra los resultados promedios de los ensayos para la caracterización del agregado grueso. Además, en la **Figura N° 17** se muestra la gradación del agregado grueso en el huso granulométrico 67 según la norma NTP 400.037:2014.

**Tabla N° 44:** Registro promedio de ensayos de caracterización del agregado grueso.

Propiedades físicas y mecánicas	Resultado
Tamaño Máximo	1"
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Módulo de finura (MF)	6.71
Coefficiente de curvatura	1.20
Coefficiente de uniformidad	1.06
% Gravas	96.04
% Arenas	3.73
% Finos	0.22
Humedad (%)	1.06
Peso específico nominal (gf/cm <sup>3</sup> )	2.74
Peso específico aparente (gf/cm <sup>3</sup> )	2.61
Peso específico s.s.s. (gf/cm <sup>3</sup> )	2.66
Peso unitario suelto (kgf/m <sup>3</sup> )	1670
Peso unitario compactado (kgf/m <sup>3</sup> )	1770
Absorción (%)	1.90
Desgaste (%)	31
Contenido de finos (%)	1.81
Contenido de vacíos (%)	32

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

**Figura N° 17:** Curva granulométrica del agregado grueso.



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### 6.1.3. Caracterización del agregado de concreto reciclado

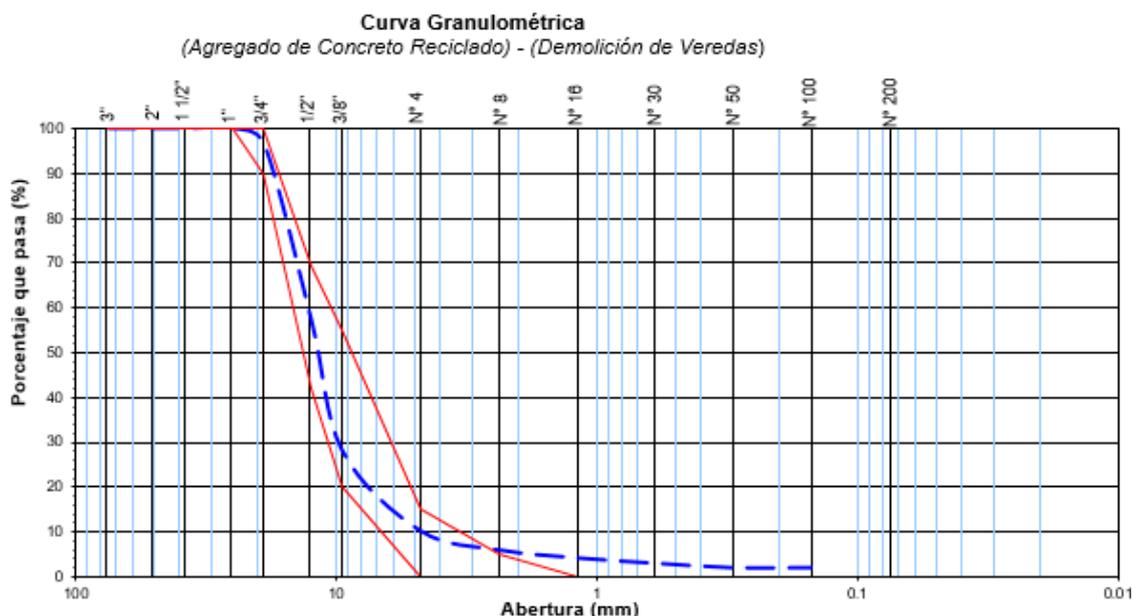
En la **Tabla N° 45** se muestra los resultados promedios de los ensayos para la caracterización del agregado de concreto reciclado. Además, en la **Figura N° 18** se muestra la gradación del agregado de concreto reciclado en el huso granulométrico 67 de la NTP 400.037:2014.

**Tabla N° 45:** Registro promedio de ensayos de caracterización del agregado reciclado.

Propiedades físicas y mecánicas	Resultado
Tamaño Máximo	1"
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Módulo de finura (MF)	6.49
Coefficiente de curvatura	1.30
Coefficiente de uniformidad	1.12
% Gravas	89.96
% Arenas	8.22
% Finos	1.82
Humedad (%)	3.59
Peso específico nominal (gf/cm <sup>3</sup> )	2.72
Peso específico aparente (gf/cm <sup>3</sup> )	2.04
Peso específico s.s.s. (gf/cm <sup>3</sup> )	2.29
Peso unitario suelto (kgf/m <sup>3</sup> )	1320
Peso unitario compactado (kgf/m <sup>3</sup> )	1470
Absorción (%)	12.13
Desgaste (%)	22
Contenido de finos (%)	3.73
Contenido de vacíos (%)	28
Durabilidad a los sulfatos (%)	0.80

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

**Figura N° 18:** Curva granulométrica del agregado de concreto reciclado.



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

## 6.2. Diseño de mezcla del concreto

### 6.2.1. Diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup>

En la **Tabla N°46** se muestra el diseño de mezcla necesario para 1m<sup>3</sup> de concreto según cada relación agua/cemento para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 46:** Datos de diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup>.

Diseño de mezcla para 1m <sup>3</sup>					
Materiales/ Cantidad de A.R.	0%	15%	30%	45%	60%
Ra/c = 0.55					
Agua (Kgf)	211	211	211	211	211
Cemento (Kgf)	373	373	373	373	373
Agregado Grueso (Kgf)	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (Kgf)	-	153	306	459	612
Agregado Fino (Kgf)	522	511	512	501	473
Plastificante (Kgf)	0.000	0.000	0.373	0.745	1.278
TOTAL	2303	2277	2264	2237	2194
Ra/c = 0.65					
Agua (Kgf)	210	210	210	210	210
Cemento (Kgf)	315	315	315	315	315
Agregado Grueso (Kgf)	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (Kgf)	-	153	306	459	612
Agregado Fino (Kgf)	575	564	567	556	526
Plastificante (Kgf)	0.000	0.000	0.315	0.631	1.276
TOTAL	2299	2273	2260	2234	2189
Ra/c = 0.70					
Agua (Kgf)	210	210	210	210	210
Cemento (Kgf)	293	293	293	293	293
Agregado Grueso (Kgf)	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (Kgf)	-	153	306	459	612
Agregado Fino (Kgf)	596	585	588	577	546
Plastificante (Kgf)	0.000	0.000	0.293	0.586	1.275
TOTAL	2297	2271	2259	2233	2187

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### 6.2.2. Diseño de mezcla para elaboración de probetas

En la **Tabla N° 47** se muestra el diseño de mezcla necesario para la elaboración de las probetas cilíndricas de 4"x8" según cada relación agua/cemento para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso. Estos datos son resultantes de multiplicar las cantidades del diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup> por un factor de conversión para realizar una tanda de 20 probetas.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 47:** Datos de diseño de mezcla para elaboración de probetas.

Diseño de mezcla para elaboración de probetas					
Materiales/ Cantidad de A.R.	0%	15%	30%	45%	60%
Ra/c = 0.55					
Factor de conversión	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
Agua (Kgf)	8.431	8.431	8.431	8.431	8.431
Cemento (Kgf)	14.909	14.909	14.909	14.909	14.909
Agregado Grueso (Kgf)	47.937	40.746	33.556	26.365	19.175
Agregado Reciclado (Kgf)	0.000	6.122	12.243	18.365	24.487
Agregado Fino (Kgf)	20.862	20.425	20.497	20.049	18.922
Plastificante (Kgf)	0.000	0.000	0.015	0.030	0.042
TOTAL	92.139	90.634	89.652	88.150	85.966
Ra/c = 0.65					
Factor de conversión	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
Agua (Kgf)	8.414	8.414	8.414	8.414	8.414
Cemento (Kgf)	12.615	12.615	12.615	12.615	12.615
Agregado Grueso (Kgf)	47.937	40.746	33.556	26.365	19.175
Agregado Reciclado (Kgf)	0.000	6.122	12.243	18.365	24.487
Agregado Fino (Kgf)	22.992	22.555	22.681	22.233	21.030
Plastificante (Kgf)	0.000	0.000	0.013	0.025	0.042
TOTAL	91.958	90.452	89.522	88.018	85.763
Ra/c = 0.70					
Factor de conversión	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
Agua (Kgf)	8.407	8.407	8.407	8.407	8.407
Cemento (Kgf)	11.714	11.714	11.714	11.714	11.714
Agregado Grueso (Kgf)	47.937	40.746	33.556	26.365	19.175
Agregado Reciclado (Kgf)	0.000	6.122	12.243	18.365	24.487
Agregado Fino (Kgf)	23.829	23.392	23.539	23.091	21.858
Plastificante (Kgf)	0.000	0.000	0.012	0.023	0.042
TOTAL	91.887	90.381	89.471	87.966	85.683

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### 6.3. Ensayos en concreto fresco

#### 6.3.1. Asentamiento

En la **Tabla N° 48** se muestra el asentamiento del concreto en estado fresco según cada relación agua/cemento para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 48:** Resultados del ensayo de asentamiento.

Asentamiento (pulg)			
Ra/c =	0.55	0.65	0.70
0%	4"	3.75"	4"
15%	4"	4"	3.75"
30%	3.75"	3.75"	4"
45%	3.75"	4"	4"
60%	4"	4"	3.5"

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

#### 6.3.2. Temperatura

En la **Tabla N° 49** se muestra la temperatura del concreto en estado fresco según cada relación agua/cemento para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso en el momento de la elaboración de las probetas cilíndricas de 4"x8".

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 49:** Resultados del ensayo de temperatura.

Temperatura			
Ra/c =	0.55	0.65	0.70
0%	19.00 °C	19.00 °C	19.00 °C
15%	18.00 °C	20.00 °C	21.00 °C
30%	22.00 °C	19.50 °C	19.00 °C
45%	20.00 °C	19.50 °C	20.00 °C
60%	19.50 °C	20.00 °C	20.00 °C

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### 6.3.3. Peso unitario

En la **Tabla N° 50** se muestra los resultados promedio del peso unitario del concreto en estado fresco según cada relación agua/cemento para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 50:** Resultados promedio del ensayo de peso unitario.

Peso Unitario (kgf/m <sup>3</sup> )			
A.R.	Ra/c = 0.55	Ra/c = 0.65	Ra/c = 0.70
0%	2400	2490	2510
15%	2380	2450	2460
30%	2360	2390	2400
45%	2330	2360	2370
60%	2300	2310	2330

*Fuente:* Elaboración propia, 2018.

## 6.4. Ensayos en concreto endurecido

### 6.4.1. Resistencia a compresión

En la **Tabla N° 51** se muestra los resultados promedio de la resistencia a compresión del concreto en estado endurecido, después de haber sido sometido a 3 días, 7 días y 28 días de curado, según cada relación agua/cemento para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 51:** Resultados promedio del ensayo de resistencia a compresión.

Resistencia a compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			
Curado	3 Días	7 Días	28 Días
R a/c = 0.55			
0%	161.98	211.82	300.91
15%	154.45	202.68	289.01
30%	143.95	196.99	285.21
45%	150.67	202.01	286.07
60%	144.79	215.56	270.15
R a/c = 0.65			
0%	141.57	178.91	237.52
15%	106.92	164.02	233.64
30%	112.48	166.15	225.86
45%	112.96	160.6	209.46
60%	133.21	164.36	209.06

R a/c = 0.70			
0%	106.25	141.63	196.01
15%	99.08	132.84	190.87
30%	87.77	116.85	198.22
45%	90.66	114.14	177.66
60%	105.19	133.46	183.80

*Fuente: Elaboración propia, 2018.*

#### 6.4.2. Succión capilar

En la **Tabla N° 52** se muestra los resultados promedio de la capacidad de succión capilar del concreto en estado endurecido, después de haber sido sometido a 28 días de curado, según la relación agua/cemento = 0.55 para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 52:** Resultados promedio de la capacidad de succión capilar Ra/c = 0.55

Capacidad de succión capilar (g/m <sup>2</sup> )					
Tiempo	Ra/c = 0.55				
	0%	15%	30%	45%	60%
martes (16:00)	1312.31	169.22	1353.59	1058.10	1078.19
martes (16:30)	1679.76	1848.44	1753.36	1359.46	1386.25
martes (17:30)	2244.06	2525.34	2456.66	1948.78	1841.64
martes (18:30)	2664.00	2974.43	2966.44	2243.45	2410.87
martes (19:30)	3044.57	3423.52	3391.98	2645.26	2792.59
martes (20:30)	3457.95	3905.16	3843.27	3207.79	3227.88
martes (21:30)	3982.87	4399.81	4339.58	3750.24	3623.00
miércoles (15:30)	5787.30	6560.67	6267.35	5136.49	5310.61
jueves (15:30)	8306.95	7907.95	7736.98	7085.27	7011.61
viernes (15:30)	8635.02	8051.14	7813.97	7319.66	7125.45

*Fuente: Elaboración propia, 2018.*

En la **Tabla N°53** se muestra los resultados promedio de la capacidad de succión capilar del concreto en estado endurecido, después de haber sido sometido a 28 días de curado, según las relaciones agua/cemento = 0.65 y 0.70 para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 53:** Resultados promedio de la capacidad de succión capilar  $Ra/c = 0.65$  y  $Ra/c = 0.70$

Tiempo	Capacidad (g/m <sup>2</sup> )									
	Ra/c = 0.65					Ra/c = 0.70				
	0%	15%	30%	45%	60%	0%	15%	30%	45%	60%
martes (16:00)	1262.88	1478.45	1360.10	1064.80	1709.39	1461.18	1569.02	774.42	1228.68	1709.39
martes (16:30)	1688.14	1938.67	1759.87	1520.19	2292.35	1881.43	2009.87	1174.76	1591.55	2285.66
martes (17:30)	2345.36	2768.67	2456.66	2129.60	2903.87	2676.67	2794.20	1811.36	2189.97	2890.74
martes (18:30)	2873.71	3280.89	2972.81	2598.38	3677.12	3239.16	3351.97	2283.89	2597.41	3690.24
martes (19:30)	3292.52	3857.80	3385.76	3013.58	4180.67	3749.92	3857.74	2710.48	2992.11	4187.36
martes (20:30)	3788.65	4389.92	3849.79	3569.42	4777.43	4260.69	4441.57	3281.45	3393.18	4777.43
martes (21:30)	4213.91	4967.42	4352.61	3870.78	5452.80	4816.71	5031.92	3616.16	3845.18	5459.22
miércoles (15:30)	6481.94	7360.39	6254.32	5973.59	7269.07	7137.78	7424.95	5939.43	5576.79	7262.50
jueves (15:30)	8775.75	9033.94	7807.01	7252.69	8033.25	9116.19	9091.99	7258.57	7480.28	8033.12
viernes (15:30)	9020.60	9182.96	7884.15	7420.12	8099.00	9348.94	9254.04	7337.32	7588.51	8132.49

**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

En la **Tabla N°54** se muestra los resultados promedio de la velocidad de succión capilar del concreto en estado endurecido, después de haber sido sometido a 28 días de curado, según cada relación agua/cemento para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 54:** Resultados promedio de la velocidad de succión capilar.

Ra/c =	Velocidad (g/(m <sup>2</sup> *s <sup>1/2</sup> ))		
	0.55	0.65	0.70
0%	16.183	17.180	17.356
15%	15.421	16.950	16.971
30%	14.154	14.305	14.635
45%	13.760	13.896	14.054
60%	13.430	13.589	13.634

*Fuente:* Elaboración propia, 2018.

## 6.5. Análisis de costos de producción

En la **Tabla N°55** se muestra los costos de producción estimados para la fabricación de 1m<sup>3</sup> de concreto según cada relación agua/cemento para cada cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla en reemplazo del agregado grueso.

Los porcentajes descritos en la tabla corresponden a la cantidad reemplazada en peso del agregado grueso.

**Tabla N° 55:** Resultados de los costos de producción.

RESUMEN DE COSTO POR M <sup>3</sup> DE CONCRETO		
R A/C	% DE AR	COSTO S/.
0.55	0%	239.36
	15%	235.88
	30%	236.40
	45%	236.60
	60%	237.99
	0%	212.36
0.65	15%	208.86
	30%	208.86
	45%	208.51
	60%	210.98
	0%	201.76
	15%	198.26
0.7	30%	195.41
	45%	197.47
	60%	200.35

*Fuente:* Elaboración propia, 2018.

## CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Para esta investigación se hizo uso del cemento Mochica MS el cual es un material que presenta moderada resistencia a los sulfatos recomendado para estructuras en contacto con ambientes y suelos húmedos – salitrosos.

### 7.1. Caracterización de los agregados

Según la **Tabla N° 43**, la granulometría del agregado fino tiene un módulo de finura de 2.13 lo cual no está dentro del rango de 2.40 a 3.10 que define a un agregado fino normal (ver **Figura N° 16**) y además, se desvía ligeramente de los husos granulométricos descritos en la norma NTP 400.037:2014 (**Tabla N° 12**) pero, debido a que la ferretería “Decas” es quien abastece a las urbanizaciones cercanas a la Universidad Privada del Norte como son Soliluz, Rosas de América y San Isidro 1era y 2da etapa, de la ciudad de Trujillo se optó por la utilización de esta, ya que este es un material utilizado habitualmente en la construcción de la mayoría de casas de la zona. La norma nos dice que se permitirá el uso de agregados que no cumple con las gradaciones especificadas, cuando existan estudios que aseguren que el material producirá concreto de la resistencia requerida a satisfacción de las partes. La granulometría del agregado fino se realizó desde la malla N°4 y la mayor cantidad del agregado quedó retenida en la malla N°100 con 49.50%.

La granulometría del agregado grueso (ver **Figura N° 17**) queda restringida en los rangos descritos en la norma NTP400.037:2014 para el huso 67 (ver **Tabla N° 13**) lo cual lo hace un material óptimo para ser utilizado en la mezcla de concreto. Según la **Tabla N° 44**, el módulo de finura es de 6.71, el coeficiente de uniformidad es de 1.20 y el coeficiente de curvatura es de 1.06 lo cual nos garantiza una conforme gradación del agregado grueso, siendo retenida la mayor cantidad en la malla de ½” con un 36.2%. Además, el tamaño máximo del agregado grueso es 1” por ende, el tamaño máximo nominal es ¾”; es necesario conocer el tamaño del agregado debido a que de este dependerá la cantidad de agua de amasado necesaria en la mezcla de concreto.

El agregado reciclado se trituró manualmente para igualar la granulometría del agregado grueso natural (ver **Figura N° 18**) para que así cumpla con los requisitos especificados en la norma NTP400.037:2014 para el huso 67 (ver **Tabla N° 13**). Según la **Tabla N° 45**, El módulo de finura es de 6.49, el coeficiente de uniformidad es de 1.12 y el coeficiente de curvatura es de 1.30 lo cual nos garantiza una conforme gradación del agregado reciclado, siendo retenida la mayor cantidad en la malla de ½” con un 39.4%. Además, el tamaño máximo del agregado reciclado es 1” por ende, el tamaño máximo nominal es ¾”; es necesario conocer el tamaño del agregado debido a que de este dependerá la cantidad de agua de amasado necesaria en la mezcla de concreto.

El contenido de humedad de los agregados puede reducir el agua de amasado e influyen en la resistencia a compresión del concreto ya que altera la relación agua/cemento.

El agregado fino contiene 1.02% de humedad, el agregado grueso contiene 1.06% de humedad y el agregado reciclado contiene 3.59% de humedad.

La absorción junto con el contenido de humedad de los agregados definirá la cantidad exacta de agua necesaria en el diseño de mezclas para alcanzar la resistencia requerida. Por otro lado, la capacidad de absorción de un material influye en la durabilidad del concreto ya que está relacionada directamente con la cantidad de espacios vacíos como poros, fisuras y permeabilidad. El agregado fino tiene 0.20% de absorción, el agregado grueso tiene 1.90% de absorción y el agregado reciclado tiene 12.13% de absorción el cual es 638% más de absorción respecto del agregado grueso natural.

El peso específico de los agregados define la condición de volumen en el diseño de mezcla, es un indicador de calidad ya que, si se emplea un material con buena densidad, el concreto resultante sería mayor o igualmente denso. El peso específico nominal del agregado fino es  $2.68 \text{ gf/cm}^3$ , del agregado grueso es  $2.74 \text{ gf/cm}^3$  y el agregado reciclado  $2.72 \text{ gf/cm}^3$ ; el peso específico aparente del agregado fino es  $2.69 \text{ gf/cm}^3$ , del agregado grueso es  $2.61 \text{ gf/cm}^3$  y el agregado reciclado  $2.04 \text{ gf/cm}^3$ ; el peso específico superficialmente seco del agregado fino es  $2.68 \text{ gf/cm}^3$ , del agregado grueso es  $2.66 \text{ gf/cm}^3$  y el agregado reciclado  $2.29 \text{ gf/cm}^3$ .

El peso unitario de los agregados permite convertir los pesos en volúmenes y viceversa cuando se trabaja con agregados, la regularidad del peso unitario, sirve también para descubrir posibles cambios bruscos en la granulometría o en la forma del agregado. El peso unitario suelto del agregado fino es  $1580 \text{ kgf/m}^3$ , del agregado grueso es  $1670 \text{ kgf/m}^3$  y el agregado reciclado  $1320 \text{ kgf/m}^3$ . El peso unitario compactado del agregado fino es  $1810 \text{ kgf/m}^3$ , del agregado grueso es  $1770 \text{ kgf/m}^3$  y el agregado reciclado  $1470 \text{ kgf/m}^3$ .

El contenido de vacíos determina la cantidad de volumen que ocupan los poros del material entre el volumen total del sólido. Además, el contenido de vacíos que existe entre las partículas de los agregados afecta la demanda de la pasta en el diseño de la mezcla, la angularidad aumenta el contenido de vacíos y los agregados de mayores tamaños con una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. El contenido de vacíos del agregado fino es 33%, del agregado grueso es 32% y el agregado reciclado es 28%.

Los materiales más finos que  $75 \text{ um}$  (tamiz No. 200), pueden formar un revestimiento en las partículas de los áridos, afectando la adherencia entre el árido y la pasta de cemento perjudicando al fraguado y la adquisición de resistencia mecánica de este. El contenido de finos del agregado fino es 5.48%, del agregado grueso es 1.81% y el agregado reciclado es 3.73%.

Los sulfatos representan uno de los mayores riesgos de agresión química para el concreto, las reacciones químicas que incluyen la formación de productos expansivos en el concreto o mortero ya endurecido pueden dar lugar a efectos perjudiciales, ya que la expansión puede producir tensiones mecánicas internas que, eventualmente, se traducen en deformaciones y

desplazamientos en diferentes partes de la estructura, siendo la de mayor daño la que produce el sulfato de magnesio. El ataque del sulfato se manifiesta con agrietamiento progresivo que reduce al concreto a un estado quebradizo y hasta suave y con una exudación de apariencia blanquecina. La norma NTP 400.037:2014 establece los límites máximos permitidos para cada agregado, por ello para el agregado reciclado se utilizará la del agregado grueso (18%); el agregado reciclado tiene una durabilidad a los sulfatos de 0.80%, por lo cual será un agregado permitido para su uso en el concreto.

El ensayo de abrasión para el agregado grueso y el agregado reciclado nos indica la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto. Según la granulometría del agregado grueso se clasificó el tipo de desgaste como "B". Al realizar el ensayo utilizando la máquina de los Ángeles se obtuvo un desgaste del 31%. La norma NTP 400.037:2014 establece que no debe sobrepasar en más del 50% para ser utilizado en mezclas de concreto, por lo cual cumple con el límite requerido. Según la granulometría del agregado reciclado se clasificó el tipo de desgaste como "B". Al realizar el ensayo utilizando la máquina de los Ángeles se obtuvo un desgaste del 22%. La norma NTP 400.037:2014 establece que no debe sobrepasar en más del 50% para ser utilizado en mezclas de concreto, por lo cual cumple con el límite requerido.

## **7.2. Ensayos en concreto fresco**

### **7.2.1. Asentamiento**

El ensayo de asentamiento permite detectar las variaciones de uniformidad de una mezcla y con ello conocer la capacidad de adaptabilidad al encofrado que lo va a contener. La consistencia va a ser modificada según la variación del contenido de humedad, lo que significa que, si en el ensayo en campo el asentamiento resulta ser menor al de diseño, presentará mayor cantidad de vacíos y por ende, ocasionará cangrejeras; sin embargo, si en el ensayo en campo el asentamiento resulta ser mayor al de diseño, puede que la mezcla se desplace con mayor velocidad y el elemento vaciado no presente una mezcla homogénea en todo su volumen.

En esta investigación, se diseñó mezclas para un asentamiento de 3" a 4" pero durante la elaboración de las probetas, al incorporar 30% del agregado de concreto reciclado, la consistencia era seca debido a la mayor absorción del agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso. Es por ello que, para obtener el asentamiento de diseño, se optó por el uso del aditivo plastificante Sikament 290N en los diseños de mezcla con reemplazo de 30%, 45% y 60% del agregado de concreto reciclado respecto al agregado grueso en peso.

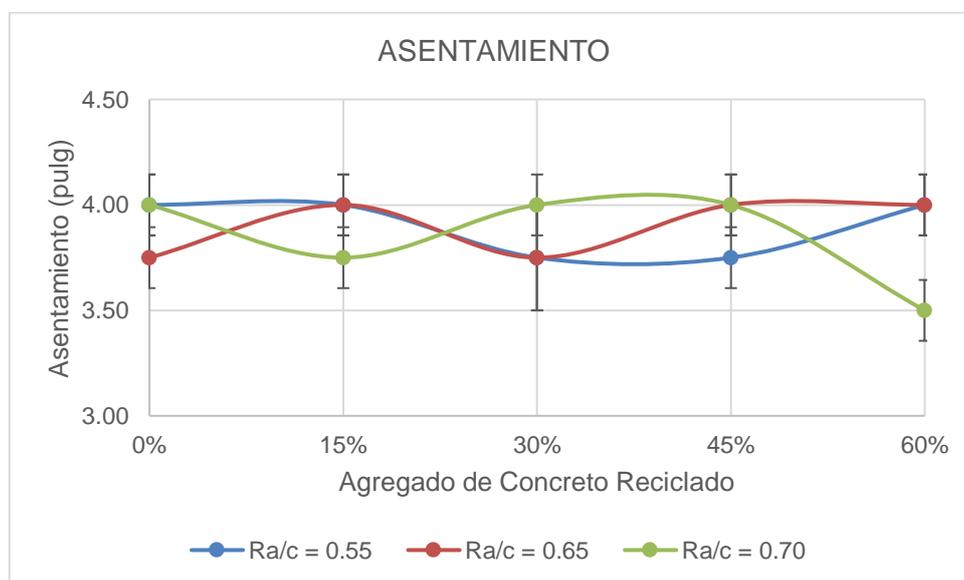
Para lograr que las mezclas obtuvieran un asentamiento de 3" a 4", se adicionó 0.1% del aditivo plastificante Sikament 290N respecto al volumen del cemento para las mezclas con el 30% de agregado de concreto reciclado en reemplazo del agregado grueso, 0.2% para las mezclas con el

45% del agregado de concreto reciclado en reemplazo del agregado grueso y 0.4% para las mezclas con el 60% del agregado de concreto reciclado en reemplazo del agregado grueso.

En la **Figura N° 19** se muestra los resultados obtenidos en el ensayo de asentamiento de los diseños de mezcla para las 3 relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) según la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido en la mezcla en reemplazo del agregado grueso (15%, 30%, 45%, 60% en peso del agregado grueso). Al cambiar la relación agua/cemento, el asentamiento se mantiene constante para todos los diseños de mezcla, esto se puede comprobar estadísticamente debido a las barras de error de la desviación estándar expresadas en el gráfico.

Además, se demuestra que los asentamientos para cada relación agua/cemento se mantienen en el rango de 3" a 4", lo que significa que, según la **Tabla N° 1**, los diseños de mezcla tendrán una consistencia media plástica con buena trabajabilidad y pueden ser utilizados para la construcción de pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas y cimentaciones. Además, los diseños de mezcla, según la **Tabla N° 2**, se pueden utilizar para la construcción de zapatas, muros de cimentación reforzados y calzaduras, siendo el asentamiento máximo de 4" y el mínimo de 1".

**Figura N° 19:** Gráfico de ensayo de asentamiento



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### 7.2.2. Peso unitario

El ensayo de peso unitario varía dependiendo de la cantidad y densidad del agregado, las cantidades de agua, cemento y aire atrapado empleados en la mezcla. El tamaño máximo del agregado a utilizar en la mezcla, como se indica en la **Tabla N°27**, va a influir en la elección del agua de amasado, por ende en la cantidad de pasta de cemento. Al disminuir la cantidad de pasta de cemento, la mezcla necesitará de mayor cantidad de agregados y por lo tanto, el peso unitario

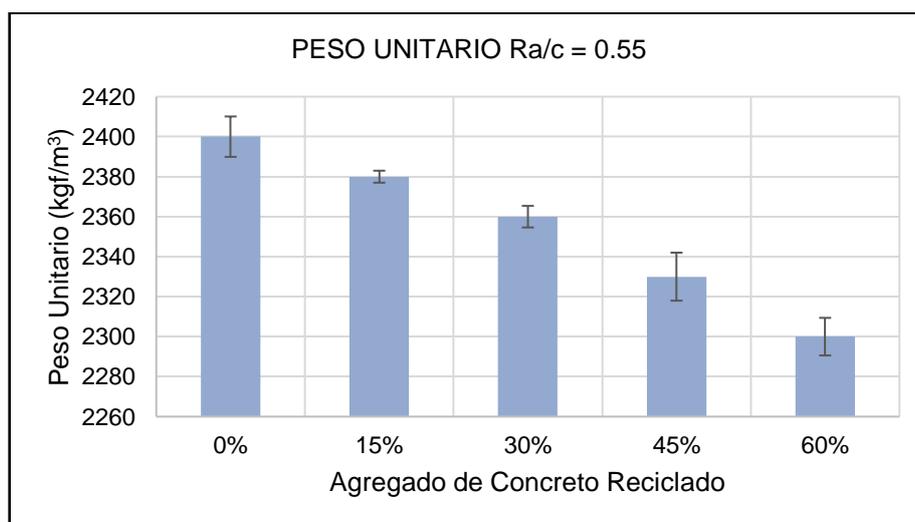
aumentará. Por el contrario, si la cantidad de pasta de cemento en la mezcla aumenta, el peso unitario disminuirá.

El peso unitario es indispensable estudiar debido a que, durante las actividades de manejo, transporte y vaciado del concreto, este determinará la cantidad en peso que ocupará un volumen unitario de concreto. Y también será quien determine la cantidad en peso ocupada en un volumen unitario de concreto puesto en obra. Si el peso unitario es bajo, mejora el aislamiento contra el fuego, el calor y el sonido, disminuye los costos en acero estructural y en materiales para la fabricación de concreto ya que, al disminuir las cargas de la estructura, las dimensiones de los cimientos también disminuirán. Desde el punto de vista de la sustentabilidad, el concreto ligero induce al ahorro de energía y materia prima en la producción de materiales de construcción.

En esta investigación, se evaluó el peso unitario de las mezclas de concreto en estado fresco y se determinó que las mezclas con 0%, 15%, 30%, 45% y 60% de agregado de concreto reciclado y para las tres relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70), que a pesar de que el peso unitario en la relación agua/cemento de 0.55 oscilan entre 2300 kgf/m<sup>3</sup> y 2400 kgf/m<sup>3</sup> y en las relaciones agua/cemento de 0.65 y 0.70 oscilan entre 2300 kgf/m<sup>3</sup> y 2500 kgf/m<sup>3</sup>, lo cual no cumple con el rango de 2200 kgf/m<sup>3</sup> y 2300 kgf/m<sup>3</sup> como es definido para un concreto normal, no alcanza la categoría de concreto pesado, la cual oscila entre 2800 kgf/m<sup>3</sup> a 6000 kgf/m<sup>3</sup>.

La **Figura N° 20** describe el ensayo de peso unitario realizado en las mezclas de concreto con una relación de agua/cemento de 0.55, la cual demuestra que a medida que se aumenta la cantidad de agregado de concreto reciclado, el peso unitario tiende a ser menor.

**Figura N° 20:** Gráfico de ensayo de peso unitario  $Ra/c = 0.55$



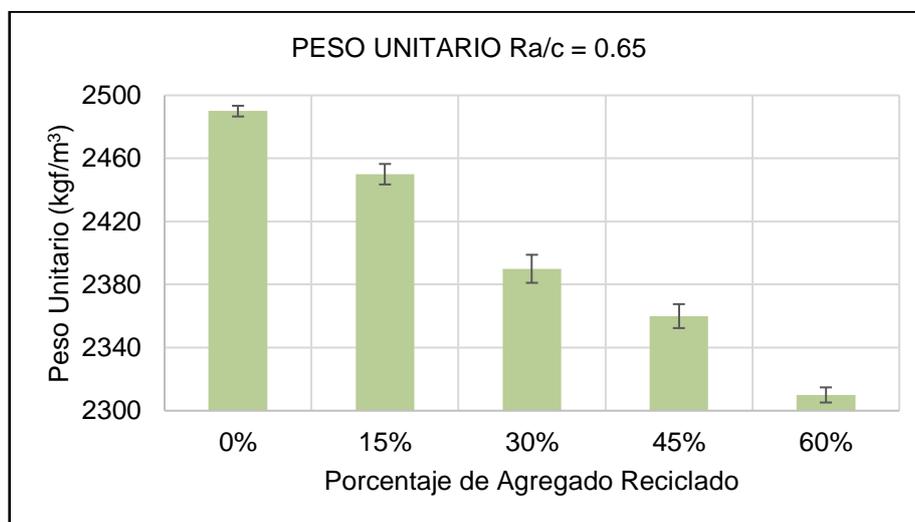
**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

El peso unitario promedio del concreto fresco de la mezcla patrón (0% de agregado de concreto reciclado) es 2400 kgf/m<sup>3</sup>, al reemplazar el agregado grueso con el 15% de agregado de concreto reciclado es 2380 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 0.83% respecto a la mezcla patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 30% de agregado de concreto reciclado es 2360 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 1.67% respecto a la mezcla patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 45% de agregado de concreto reciclado es 2330kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 2.92% respecto a la mezcla patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 60% de agregado de concreto reciclado es 2300 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 4.17% respecto a la mezcla patrón.

Al analizar el ensayo de peso unitario para la R a/c = 0.55 estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar estimar la incertidumbre de los resultados para 3 muestras, se concluye que realmente existe una disminución en el peso unitario.

La **Figura N° 21** describe el ensayo de peso unitario realizado en las mezclas de concreto con una relación de agua/cemento de 0.65, la cual demuestra que a medida que se aumenta la cantidad de agregado de concreto reciclado, el peso unitario tiende a ser menor.

**Figura N° 21:** Gráfico de ensayo de peso unitario Ra/c = 0.65



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

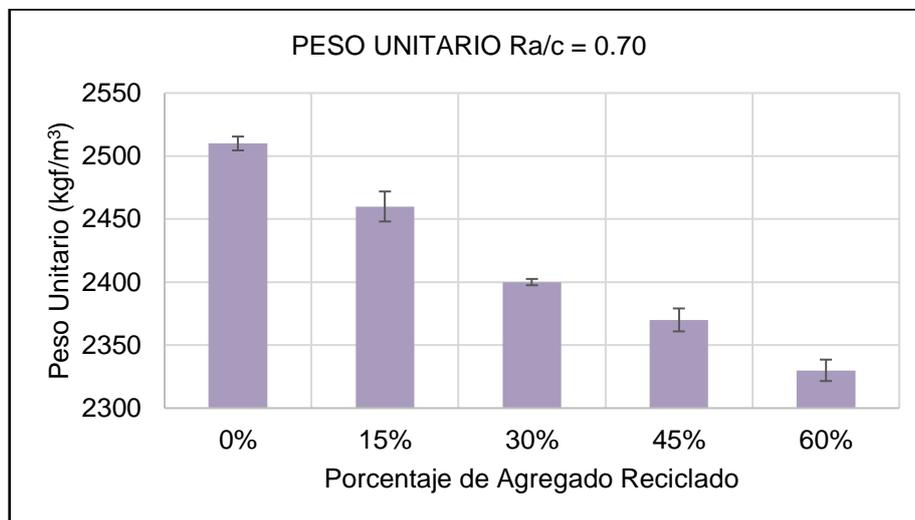
El peso unitario promedio del concreto fresco de la mezcla patrón (0% de agregado de concreto reciclado) es de 2490 kgf/m<sup>3</sup>, al reemplazar el agregado grueso con el 15% de agregado de concreto reciclado es 2450 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 1.61% respecto a la mezcla patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 30% de agregado de concreto reciclado es 2390 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 4.02% respecto a la mezcla patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 45% de agregado de concreto reciclado es 2360kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 5.22% respecto a la mezcla

patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 60% de agregado de concreto reciclado es 2310 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 7.23% respecto a la mezcla patrón.

Al analizar el ensayo de peso unitario para la R a/c = 0.65 estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 3 muestras, se concluye que realmente existe una disminución en el peso unitario.

La **Figura N° 22** describe el ensayo de peso unitario realizado en las mezclas de concreto con una relación de agua/cemento de 0.70, la cual demuestra que a medida que se aumenta la cantidad de agregado de concreto reciclado, el peso unitario tiende a ser menor.

**Figura N° 22:** Gráfico de ensayo de peso unitario Ra/c = 0.70



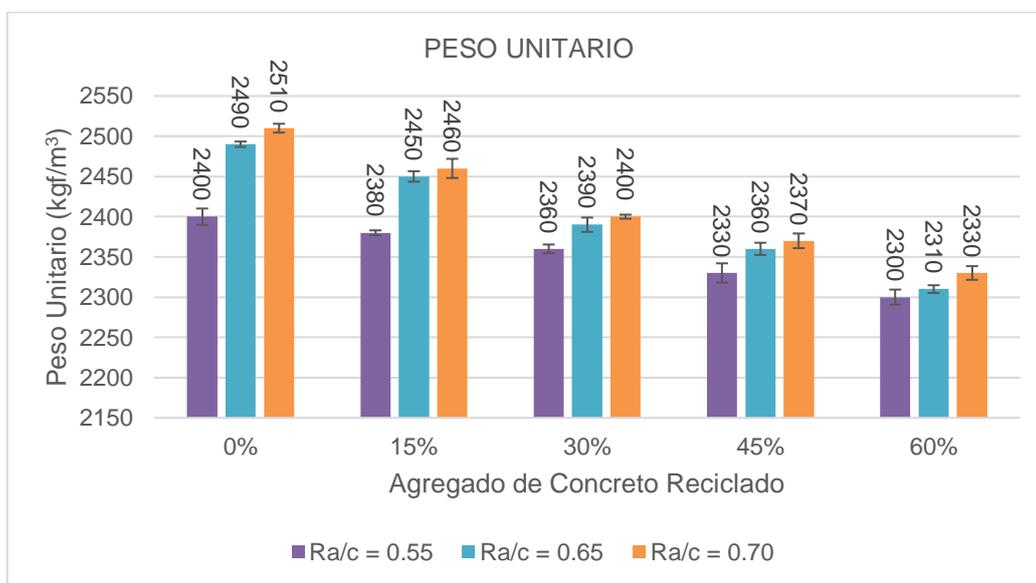
**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

El peso unitario promedio del concreto fresco de la mezcla patrón (0% de agregado de concreto reciclado) es de 2510 kgf/m<sup>3</sup>, al reemplazar el agregado grueso con el 15% de agregado de concreto reciclado es 2460 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 1.99% respecto a la mezcla patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 30% de agregado de concreto reciclado es 2400 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 4.38% respecto a la mezcla patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 45% de agregado de concreto reciclado es 2370kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 5.58% respecto a la mezcla patrón; al reemplazar el agregado grueso con el 60% de agregado de concreto reciclado es 2330 kgf/m<sup>3</sup>, es decir, disminuye un 7.17% respecto a la mezcla patrón.

Al analizar el ensayo de peso unitario para la R a/c = 0.70 estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 3 muestras, se concluye que realmente existe una disminución en el peso unitario.

En la **Figura N° 23** se describe que mientras aumenta la relación de agua/cemento el peso unitario es mayor; a medida que aumenta la cantidad de agregado de concreto reciclado, disminuye el peso unitario progresivamente para las tres relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70). Esta disminución en el peso unitario del concreto puede ser la consecuencia de que la mezcla de concreto tenga mayor cantidad de aire atrapado; es decir, que los materiales no hayan llenado totalmente el volumen de la probeta producto de la falta de varillado de la mezcla; o se debe a que el agregado de concreto reciclado presenta mayor porosidad en su composición ya que, según la **Tabla N° 44 y Tabla N° 45** ocupa menor peso en un mismo volumen unitario respecto al agregado grueso. Esto se puede verificar realizando el ensayo de contenido de aire en el concreto fresco bajo la norma NTP 339.080:2017.

**Figura N° 23:** Gráfico de ensayo de peso unitario.



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

Calle (2015) en su investigación indica que el uso de concreto ligero produce un incremento en el costo de producción de 30% a 50% debido a la necesidad de cuidar más la colocación del concreto puesto que, el concreto ligero presenta mayor porosidad y mayor contracción por secado.

Al volver más ligero el concreto con el uso del agregado de concreto reciclado en reemplazo con el agregado grueso hasta un 30% no produce mayor porosidad respecto al diseño patrón sin agregado de concreto reciclado, nótese en la imagen del **Anexo N° 3**. Esto se debe a los materiales que forman parte de la mezcla y a la buena compactación.

Además, el costo de producción al utilizar el agregado de concreto reciclado (15%, 30%, 45% y 60% en peso respecto al agregado grueso), según la **Tabla N° 55**, disminuye un 1.74%, 3.29%, 5.03% y 7.02% respectivamente.

Al comparar el ensayo de peso unitario para las 3 relaciones agua/cemento estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados, se demuestra que en las mezclas con 0% y 30% de agregado de concreto reciclado existe variación para las 3 relaciones agua/cemento. Sin embargo, en las mezclas con 15% y 45% de agregado de concreto reciclado existe variación entre la  $R a/c = 0.55$  con las otras dos, pero no existe variación entre la  $R a/c = 0.65$  y la  $R a/c = 0.70$ . Además, en la mezcla con 60% de agregado de concreto reciclado no existe variación entre la  $R a/c = 0.55$  y  $R a/c = 0.65$  pero sí entre la  $R a/c = 0.70$  y las otras dos.

### 7.3. Ensayos en concreto endurecido

#### 7.3.1. Resistencia a la Compresión

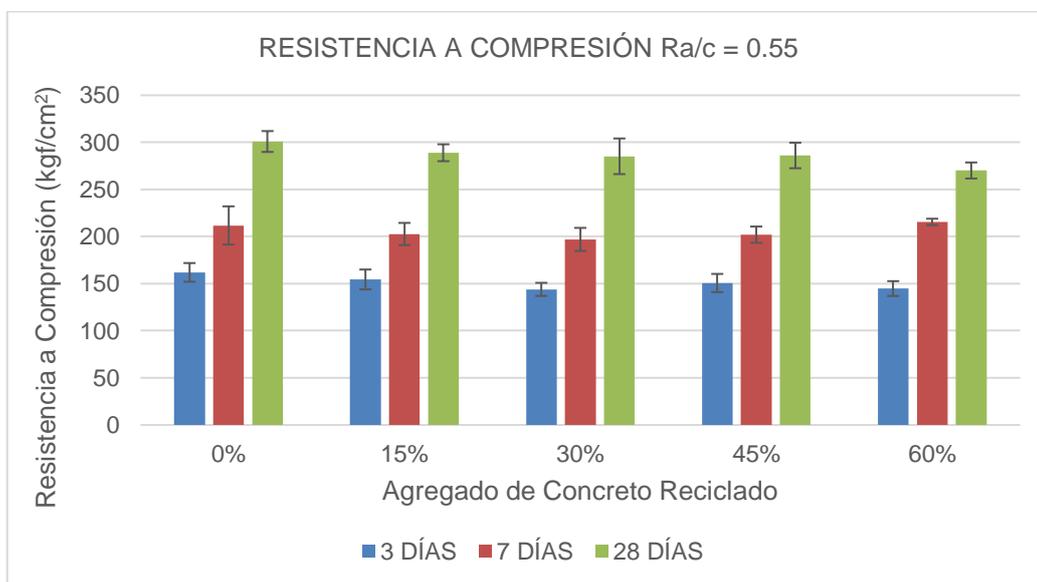
La principal propiedad mecánica de un concreto es la resistencia a compresión, que se obtiene de someter probetas cilíndricas a una carga sobre una de sus caras, según los resultados obtenidos en este ensayo se puede analizar en qué tipo de estructuras debe ser usado, por lo cual en esta investigación se buscará el porcentaje ideal y relación agua/cemento más óptimo para un concreto estructural y un no estructural, el cual debe cumplir con una resistencia mínima de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  y  $175 \text{ kgf/cm}^2$  respectivamente. El proceso de los ensayos realizados se detalla en el **Capítulo 4** y en el **apéndice N° 3.2** se brinda toda la información necesaria para la obtención de los valores y resultados que se expresan de manera detallada en este capítulo.

En la **Figura N° 24** se observa la resistencia a la compresión del concreto con la relación agua/cemento ( $R a/c$ ) = 0.55, donde se aprecia que el concreto patrón (0% de agregado reciclado) alcanza una resistencia real promedio a los 28 días de  $300.91 \text{ kgf/cm}^2$  el cual es un resultado que se encuentra dentro de lo esperado de acuerdo a la **Tabla N° 28**, mientras que a los 3 y 7 días se obtuvo un 53.83% ( $161.98 \text{ kgf/cm}^2$ ) y 70.39% ( $211.82 \text{ kgf/cm}^2$ ) respectivamente en relación a lo alcanzado a los 28 días. Se observa que la resistencia promedio al sustituir el agregado grueso por agregado reciclado en un 15% (en peso del agregado grueso) está muy cerca al del patrón, con una resistencia promedio a los 28 días de curado de  $289.01 \text{ kgf/cm}^2$  equivalente a un 96.05 % del patrón y 53.44% ( $154.45 \text{ kgf/cm}^2$ ) y 70.13% ( $202.68 \text{ kgf/cm}^2$ ) a los 3 y 7 días respectivamente en relación a lo alcanzado a los 28 días. Con 30% de reemplazo de agregado grueso por agregado reciclado se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de  $285.21 \text{ kgf/cm}^2$  que es un 94.78% del patrón y un 98.69% de las probetas con 15% de agregado reciclado, a los 3 y 7 días alcanzaron 50.47% ( $143.95 \text{ kgf/cm}^2$ ) y 69.07% ( $196.99 \text{ kgf/cm}^2$ ) en relación a lo alcanzado a los 28 días. Las probetas con 45% de agregado reciclado alcanzaron una resistencia promedio a los 28 días de  $286.07 \text{ kgf/cm}^2$  que es un 95.06% del patrón, 98.98% y 100.30% respecto a las probetas con 15% y 30% de agregado reciclado respectivamente; a los 3 y 7 días alcanzó un 52.43% ( $150.67 \text{ kgf/cm}^2$ ) y 70.62% ( $202.01 \text{ kgf/cm}^2$ ) en relación a lo alcanzado a los 28 días. Las probetas con 60% de agregado

reciclado obtuvieron una resistencia promedio a los 28 días de 270.15 kgf/cm<sup>2</sup> equivalente a un 89.78% del patrón, 93.47%, 94.72% y 94.43% de las probetas con 15%, 30% y 45% de agregado reciclado respectivamente; a los 3 y 7 días alcanzaron 53.60% (144.79 kgf/cm<sup>2</sup>) y 79.79% (215.56 kgf/cm<sup>2</sup>) en relación a lo alcanzado a los 28 días.

Las probetas con una R a/c = 0.55 y con agregado reciclado en un 15%, 30%, 45% y 60% presentan una disminución en su resistencia a compresión promedio a los 28 días en un 3.95%, 5.22%, 4.94% y 10.22% respectivamente con respecto al patrón.

**Figura N° 24:** Resultados de Resistencia a Compresión R a/c = 0.55



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

Además, en la **Figura N° 24** se observa como la línea de tendencia de la resistencia a compresión promedio a los 28 días disminuye al adicionarle mayor cantidad de agregado de concreto reciclado, teniendo un punto de inflexión mayor al agregar 45% de agregado reciclado, mientras que a los 7 días disminuye la resistencia hasta el 30% de agregado reciclado, y desde ese punto presenta un ligero aumento de resistencia donde las probetas con 60% de agregado reciclado superan al patrón en 1.77% lo cual indica mayor resistencia inicial a los 7 días; a los 3 días las probetas con 15% y 30% presentan una disminución, y un ligero aumento en la de 45% para luego decaer nuevamente.

Al comparar el ensayo de resistencia a compresión del diseño con R a/c =0.55 para los 3 días de curado del concreto estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 6 muestras, se demuestra que realmente existe una variación entre las resistencias alcanzadas según los días de curado. Sin embargo, al analizar los resultados estadísticamente usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados respecto a la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido,

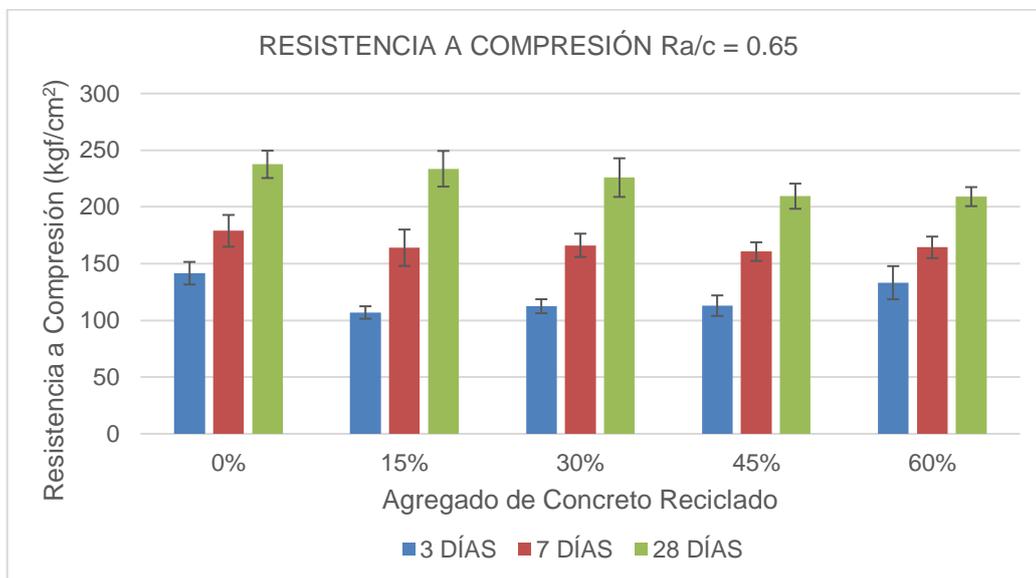
se demuestra que no existe variación entre las resistencias alcanzadas a los 3, 7 y 28 días mientras se añade mayor cantidad de agregado de concreto reciclado.

En la **Figura N° 25** se muestra la resistencia a la compresión del concreto con  $R_{a/c} = 0.65$ , donde se aprecia que el concreto patrón alcanza una resistencia real promedio a los 28 días de 237.52 kgf/cm<sup>2</sup> el cual es un valor que se encuentra dentro de lo esperado de acuerdo a la **Tabla N° 28**, mientras que a los 3 y 7 días se obtuvo un 59.60% (141.57 kgf/cm<sup>2</sup>) y 75.32% (178.91 kgf/cm<sup>2</sup>) respectivamente en relación a lo alcanzado a los 28 días. Se observa que la resistencia promedio al sustituir el agregado grueso por agregado reciclado en un 15% está muy cerca al del patrón, con una resistencia promedio a los 28 días de curado de 233.64 kgf/cm<sup>2</sup> equivalente a un 98.37% del patrón y 45.76% (106.92 kgf/cm<sup>2</sup>) y 70.20% (164.02 kgf/cm<sup>2</sup>) a los 3 y 7 días respectivamente en relación a lo alcanzado a los 28 días. Con 30% de reemplazo de agregado grueso por agregado reciclado en peso se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 225.86 kgf/cm<sup>2</sup> que es un 95.09% del patrón y un 96.67% de las probetas con 15% de agregado reciclado, a los 3 y 7 días alcanzaron 49.80% (112.48 kgf/cm<sup>2</sup>) y 73.56% (166.15 kgf/cm<sup>2</sup>) en relación de lo alcanzado a los 28 días. Las probetas con 45% de agregado reciclado alcanzaron una resistencia promedio a los 28 días de 209.46 kgf/cm<sup>2</sup> que es un 88.19% del patrón, 89.65% y 92.74% respecto a las probetas con 15% y 30% de agregado reciclado respectivamente; a los 3 y 7 días alcanzó un 53.93% (112.96 kgf/cm<sup>2</sup>) y 76.67% (160.60 kgf/cm<sup>2</sup>) respecto a lo alcanzado a los 28 días. Las probetas con 60% de agregado reciclado obtuvieron una resistencia promedio a los 28 días de 209.06 kgf/cm<sup>2</sup> equivalente a un 88.02% del patrón, 89.48%, 92.56% y 99.81% de las probetas con 15%, 30% y 45% de agregado reciclado respectivamente; a los 3 y 7 días alcanzaron 63.72% (133.21 kgf/cm<sup>2</sup>) y 78.62% (164.36 kgf/cm<sup>2</sup>) en relación a lo alcanzado a los 28 días.

Las probetas con  $R_{a/c} = 0.65$  y con agregado reciclado en un 15%, 30%, 45% y 60% presentan una disminución en su resistencia a compresión promedio a los 28 días en un 1.63%, 4.91%, 11.81% y 11.98% respectivamente con respecto al patrón.

Además, en la **Figura N° 25** se observa como la línea de tendencia de la resistencia a compresión promedio a los 28 días disminuye, teniendo un punto de inflexión mayor al agregar 30% de agregado reciclado continuando linealmente hasta el 60%, mientras que a los 7 días disminuye la resistencia hasta el 15% de agregado reciclado, y desde ese punto presenta un ligero aumento de resistencia hasta el 30% de agregado donde nuevamente se mantiene lineal hasta el 60% de agregado reciclado; a los 3 días las probetas con 15% de agregado reciclado presentan una disminución considerable en su resistencia y a partir del 30% de agregado reciclado se presenta un aumento en la resistencia a compresión pero sin lograr superar al patrón, por lo cual si se desea mayores resistencias iniciales se optaría por usar el concreto con 60% de agregado reciclado.

**Figura N° 25:** Resultados de Resistencia a Compresión  $R_{a/c} = 0.65$



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

Al comparar el ensayo de resistencia a compresión del diseño con  $R_{a/c} = 0.65$  para los 3 días de curado del concreto estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 6 muestras, se demuestra que realmente existe una variación entre las resistencias alcanzadas según los días de curado. Sin embargo, al analizar los resultados estadísticamente usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados respecto a la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido, se demuestra que no existe variación entre las resistencias alcanzadas a los 3, 7 y 28 días mientras se añade mayor cantidad de agregado de concreto reciclado.

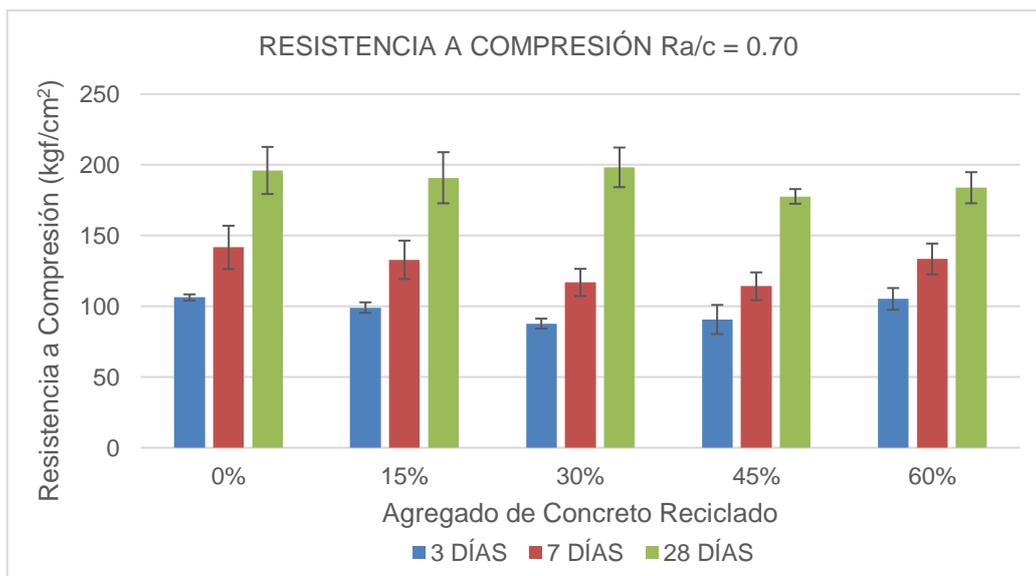
En la **Figura N° 26** se muestra la resistencia a la compresión del concreto con  $R_{a/c} = 0.70$  donde se aprecia que el concreto patrón alcanza una resistencia real promedio a los 28 días de 196.01 kgf/cm<sup>2</sup> el cual es un valor que se encuentra dentro de lo esperado de acuerdo a la **Tabla N° 28**, mientras que a los 3 y 7 días se obtuvo un 54.21% (106.25 kgf/cm<sup>2</sup>) y 72.26% (141.63 kgf/cm<sup>2</sup>) respectivamente en relación a lo alcanzado a los 28 días. Se observa que la resistencia promedio al sustituir el agregado grueso por agregado reciclado en un 15% en peso está muy cerca al del patrón, con una resistencia promedio a los 28 días de curado de 190.87 kgf/cm<sup>2</sup> equivalente a un 97.38% del patrón y 51.91% (99.08 kgf/cm<sup>2</sup>) y 69.60% (132.84 kgf/cm<sup>2</sup>) a los 3 y 7 días respectivamente en relación de lo alcanzado a los 28 días. Con 30% de reemplazo de agregado grueso por agregado reciclado se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 198.22 kgf/cm<sup>2</sup> que es un 101.13 % del patrón y un 103.85% de las probetas con 15% de agregado reciclado, a los 3 y 7 días alcanzaron 44.28% (87.77 kgf/cm<sup>2</sup>) y 58.94% (116.85 kgf/cm<sup>2</sup>) en relación a lo alcanzado a los 28 días. Las probetas con 45% de agregado reciclado alcanzaron una resistencia promedio a

los 28 días de 177.66 kgf/cm<sup>2</sup>, que es un 90.64% del patrón, 93.08% y 89.63% respecto a las probetas con 15% y 30% de agregado reciclado respectivamente; a los 3 y 7 días alcanzó un 51.20% (90.66 kgf/cm<sup>2</sup>) y 64.25% (114.14 kgf/cm<sup>2</sup>) en relación a lo alcanzado a los 28 días. Las probetas con 60% de agregado reciclado obtuvieron una resistencia promedio a los 28 días de 183.80 kgf/cm<sup>2</sup> equivalente a un 93.77% del patrón, 96.30%, 92.73% y 103.45% de las probetas con 15%, 30% y 45% de agregado reciclado respectivamente; a los 3 y 7 días alcanzaron 57.23% (105.19 kgf/cm<sup>2</sup>) y 72.61% (133.46 kgf/cm<sup>2</sup>) respecto a lo alcanzado a los 28 días.

Las probetas con  $R_{a/c} = 0.70$  y con agregado reciclado en un 15%, 45% y 60% presentan una disminución en su resistencia a compresión promedio a los 28 días en un 2.62%, 9.36% y 6.23% respectivamente con respecto al patrón y un ligero aumento con 30% de agregado reciclado en un 1.13% respecto al patrón.

Además, en la **Figura N° 26** se observa como la línea de tendencia de la resistencia a compresión promedio a los 28 días disminuye con 15% de agregado reciclado, teniendo un punto de incremento en la resistencia a compresión al agregar 30% de agregado reciclado superando al patrón; para luego presentar una disminución lineal en la resistencia hasta el 60%, mientras que a los 7 días disminuye la resistencia hasta el 30% de agregado reciclado, y desde ese punto presenta un ligero aumento de resistencia hasta el 60% de agregado reciclado; a los 3 días la línea de tendencia es similar a la de 7 días con una disminución hasta el 15% de agregado reciclado, y aumento hasta el 60%.

**Figura N° 26:** Resultados de Resistencia a Compresión  $R_{a/c} = 0.70$



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

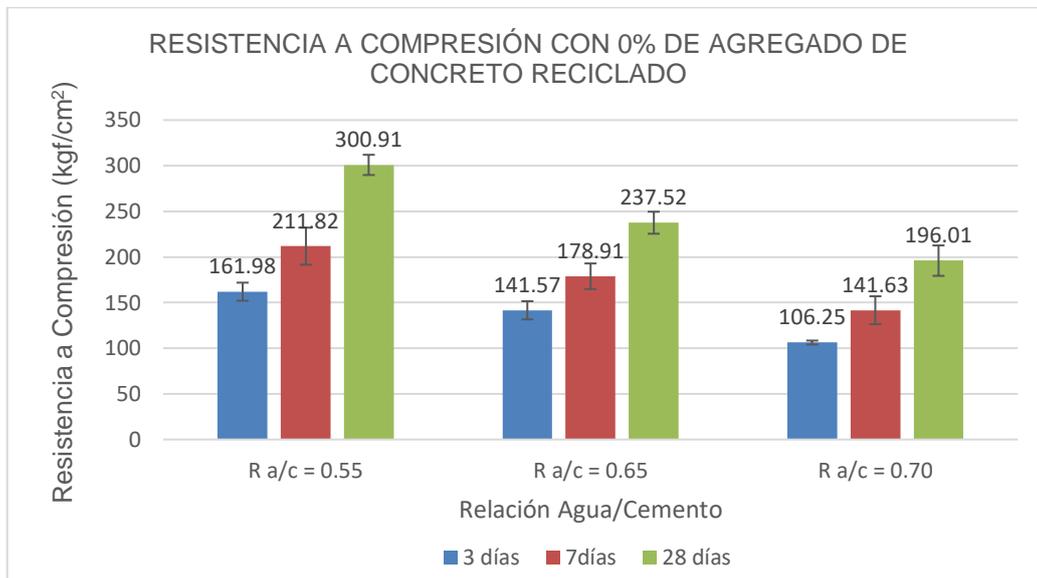
Al comparar el ensayo de resistencia a compresión del diseño con  $R_{a/c} = 0.70$  para los 3 días de curado del concreto estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 6 muestras, se demuestra que realmente existe una variación entre las resistencias alcanzadas según los días de curado. Sin embargo, al analizar los resultados estadísticamente usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados respecto a la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido, se demuestra que no existe variación entre las resistencias alcanzadas a los 3, 7 y 28 días mientras se añade mayor cantidad de agregado de concreto reciclado.

Gómez (2005) encontró que la disminución de la resistencia a compresión es magnitud proporcional al aumento del porcentaje de concreto reciclado usado en la mezcla, confirmando así los resultados encontrados en esta investigación, donde conforme se agrega más agregado reciclado la resistencia disminuye proporcionalmente. Al reemplazar agregado natural por agregado reciclado en un 15% de agregado reciclado se obtiene que en promedio con las diferentes relaciones agua/cemento, la resistencia llega al 97.27% respecto del patrón, con un 30% de agregado reciclado llega a un 96.99% respecto del patrón, con 45% de agregado reciclado llega a un 91.30% respecto del patrón y con 60% de agregado reciclado llega a un 90.52 % respecto del patrón.

En la **Figura N° 27** se muestra la resistencia a la compresión del concreto Patrón (0% de agregado reciclado con las diferentes relaciones agua/cemento ( $R_{a/c}$ ), donde se aprecia la uniformidad de los resultados a las diferentes edades de ensayo donde el valor más alto fue alcanzado por la  $R_{a/c} = 0.55$  con una resistencia promedio a los 28 días de 300.91  $\text{kgf/cm}^2$  y unas resistencias de 211.82  $\text{kgf/cm}^2$  y 161.98  $\text{kgf/cm}^2$  a los 7 y 3 días respectivamente, seguidamente la  $R_{a/c} = 0.65$  alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 237.52  $\text{kgf/cm}^2$ , que equivale a un 78.93% de la  $R_{a/c} = 0.55$  y unas resistencias de 178.91  $\text{kgf/cm}^2$  y 141.57  $\text{kgf/cm}^2$  a los 7 y 3 días respectivamente; la  $R_{a/c} = 0.70$  alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 196.01  $\text{kgf/cm}^2$ , equivalente a un 65.14% y 82.52% respecto de las  $R_{a/c} = 0.55$  y  $R_{a/c} = 0.65$  respectivamente y unas resistencias de 141.63  $\text{kgf/cm}^2$  y 106.25  $\text{kgf/cm}^2$  a los 7 y 3 días.

Al comparar la resistencia a compresión para la probeta patrón (0% de agregado reciclado) estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 6 muestras, se demuestra que para todas las relaciones agua/cemento existe variación entre las resistencias alcanzadas en todos los días de curado. Además, a 3 y 28 días de curado existe variación entre las 3 relaciones agua/cemento. Sin embargo, a los 7 días de curado existe variación entre la  $R_{a/c} = 0.70$  con las otras dos pero no existe variación entre la  $R_{a/c} = 0.55$  y la  $R_{a/c} = 0.65$ .

**Figura N° 27:** Resultados de Resistencia a Compresión 0% de Agregado Reciclado

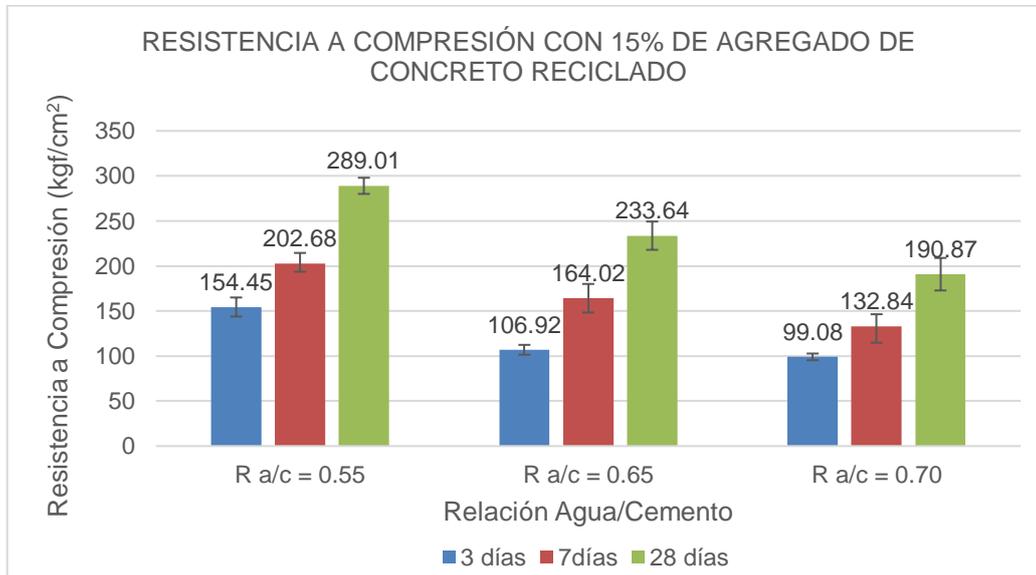


**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

En la **Figura N° 28** se muestra la resistencia a la compresión del concreto con 15% de Agregado Reciclado con las diferentes relaciones agua/cemento (R a/c), donde se aprecia la uniformidad de los resultados a las diferentes edades de ensayo donde el valor más alto fue alcanzado por la R a/c = 0.55 con una resistencia promedio a los 28 días de 289.01 kgf/cm<sup>2</sup> y unas resistencias de 202.68 kgf/cm<sup>2</sup> y 154.45 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días respectivamente, seguidamente la R a/c = 0.65 alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 233.64 kgf/cm<sup>2</sup> que equivale a un 80.84 % de la R a/c = 0.55 y unas resistencias de 164.02 kgf/cm<sup>2</sup> y 106.92 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días respectivamente; la R a/c = 0.70 alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 190.87 kgf/cm<sup>2</sup> , equivalente a un 66.04% y 81.69% respecto de las R a/c = 0.55 y R a/c = 0.65 respectivamente y unas resistencias de 132.84 kgf/cm<sup>2</sup> y 99.08 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días.

Al comparar la resistencia a compresión para la mezcla con 15% de agregado reciclado estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 6 muestras, se demuestra que para todas las relaciones agua/cemento existe variación entre las resistencias alcanzadas en todos los días de curado. Además, a 7 y 28 días de curado existe variación entre las 3 relaciones agua/cemento. Sin embargo, a los 3 días de curado existe variación entre la R a/c = 0.55 con las otras dos pero no existe variación entre la R a/c = 0.65 y la R a/c = 0.70.

**Figura N° 28:** Resultados de Resistencia a Compresión 15% de Agregado Reciclado

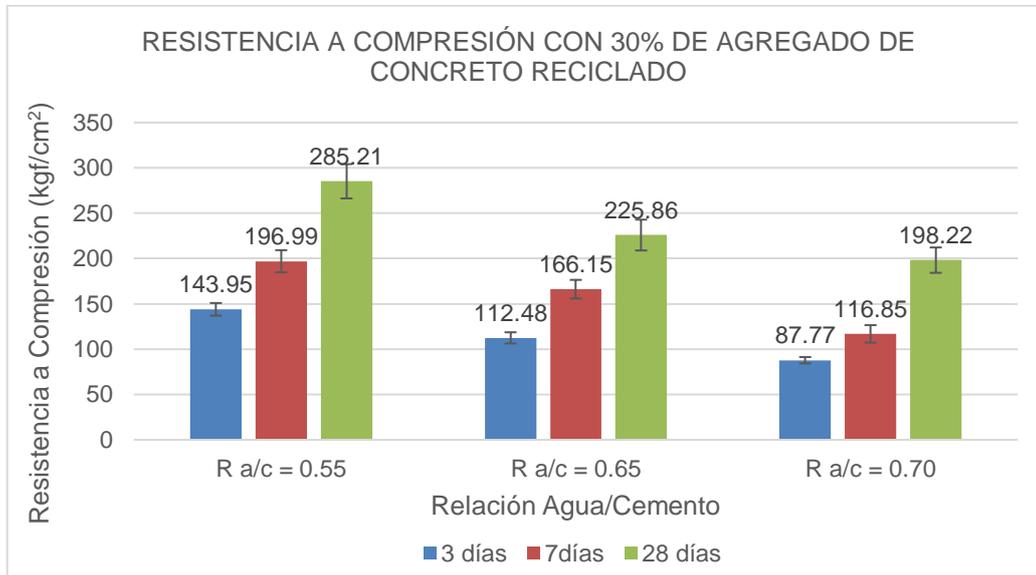


**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

En la **Figura N° 29** se muestra la resistencia a la compresión del concreto con 30% de Agregado Reciclado con las diferentes relaciones agua/cemento (R a/c), donde se aprecia la uniformidad de los resultados a las diferentes edades de ensayo donde el valor más alto fue alcanzado por la R a/c = 0.55 con una resistencia promedio a los 28 días de 285.21 kgf/cm<sup>2</sup> y unas resistencias de 196.99 kgf/cm<sup>2</sup> y 143.95 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días respectivamente, seguidamente la R a/c = 0.65 alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 225.86 kgf/cm<sup>2</sup> que equivale a un 79.19 % de la R a/c = 0.55 y unas resistencias de 166.15 kgf/cm<sup>2</sup> y 112.48 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días respectivamente; la R a/c = 0.70 alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 198.22 kgf/cm<sup>2</sup> , equivalente a un 69.50% y 87.76% respecto de las R a/c = 0.55 y R a/c = 0.65 respectivamente y unas resistencias de 116.85 kgf/cm<sup>2</sup> y 87.77 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días.

Al comparar la resistencia a compresión para la mezcla con 30% de agregado reciclado estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 6 muestras, se demuestra que para todas las relaciones agua/cemento existe variación entre las resistencias alcanzadas en todos los días de curado. Además, a 3 y 7 días de curado existe variación entre las 3 relaciones agua/cemento. Sin embargo, a los 28 días de curado existe variación entre la R a/c = 0.55 con las otras dos pero no existe variación entre la R a/c = 0.65 y la R a/c = 0.70.

**Figura N° 29:** Resultados de Resistencia a Compresión 30% de Agregado Reciclado

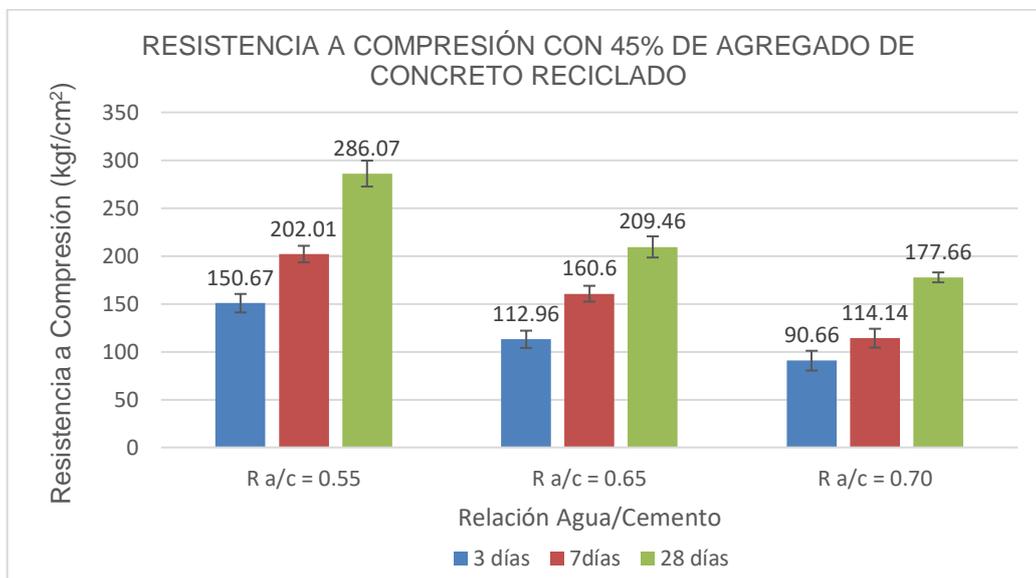


**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

En la **Figura N° 30** se muestra la resistencia a la compresión del concreto con 45% de Agregado Reciclado con las diferentes relaciones agua/cemento (R a/c), donde se aprecia la uniformidad de los resultados a las diferentes edades de ensayo donde el valor más alto fue alcanzado por la R a/c = 0.55 con una resistencia promedio a los 28 días de 286.07 kgf/cm<sup>2</sup> y unas resistencias de 202.01 kgf/cm<sup>2</sup> y 150.67 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días respectivamente, seguidamente la R a/c = 0.65 alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 209.46 kgf/cm<sup>2</sup> que equivale a un 73.22 % de la R a/c = 0.55 y unas resistencias de 160.60 kgf/cm<sup>2</sup> y 112.96 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días respectivamente; la R a/c = 0.70 alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 177.66 kgf/cm<sup>2</sup>, equivalente a un 62.10% y 84.82% respecto de las R a/c = 0.55 y R a/c = 0.65 respectivamente y unas resistencias de 114.14 kgf/cm<sup>2</sup> y 90.66 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días.

Al comparar la resistencia a compresión para la mezcla con 45% de agregado reciclado estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 6 muestras, se demuestra que para todas las relaciones agua/cemento existe variación entre las resistencias alcanzadas en todos los días de curado. Además, a 3, 7 y 28 días de curado existe variación entre las 3 relaciones agua/cemento.

**Figura N° 30:** Resultados de Resistencia a Compresión 45% de Agregado Reciclado

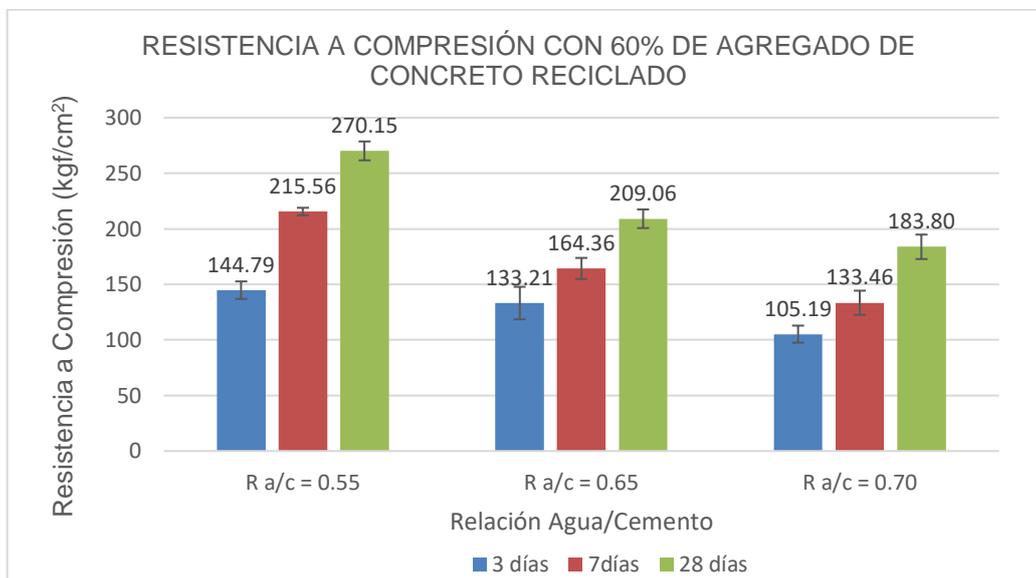


**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

En la **Figura N° 31** se muestra la resistencia a la compresión del concreto con 60% de Agregado Reciclado con las diferentes relaciones agua/cemento (R a/c), donde se aprecia la uniformidad de los resultados a las diferentes edades de ensayo donde el valor más alto fue alcanzado por la R a/c = 0.55 con una resistencia promedio a los 28 días de 270.15 kgf/cm<sup>2</sup> y unas resistencias de 215.56 kgf/cm<sup>2</sup> y 144.79 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días respectivamente, seguidamente la R a/c = 0.65 alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 209.06 kgf/cm<sup>2</sup> que equivale a un 77.39 % de la R a/c = 0.55 y unas resistencias de 164.36 kgf/cm<sup>2</sup> y 133.21 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días respectivamente; la R a/c = 0.70 alcanzó una resistencia promedio a los 28 días de 183.80 kgf/cm<sup>2</sup>, equivalente a un 68.04% y 87.92% respecto de las R a/c = 0.55 y R a/c = 0.65 respectivamente y unas resistencias de 133.46 kgf/cm<sup>2</sup> y 105.19 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 y 3 días.

Al comparar la resistencia a compresión para la mezcla con 60% de agregado reciclado estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados para 6 muestras, se demuestra que para todas las relaciones agua/cemento existe variación entre las resistencias alcanzadas en todos los días de curado. Además, a 7 y 28 días de curado existe variación entre las 3 relaciones agua/cemento. Sin embargo, a los 3 días de curado existe variación entre la R a/c = 0.70 con las otras dos pero no existe variación entre la R a/c = 0.55 y la R a/c = 0.65.

**Figura N° 31:** Resultados de Resistencia a Compresión 60% de Agregado Reciclado



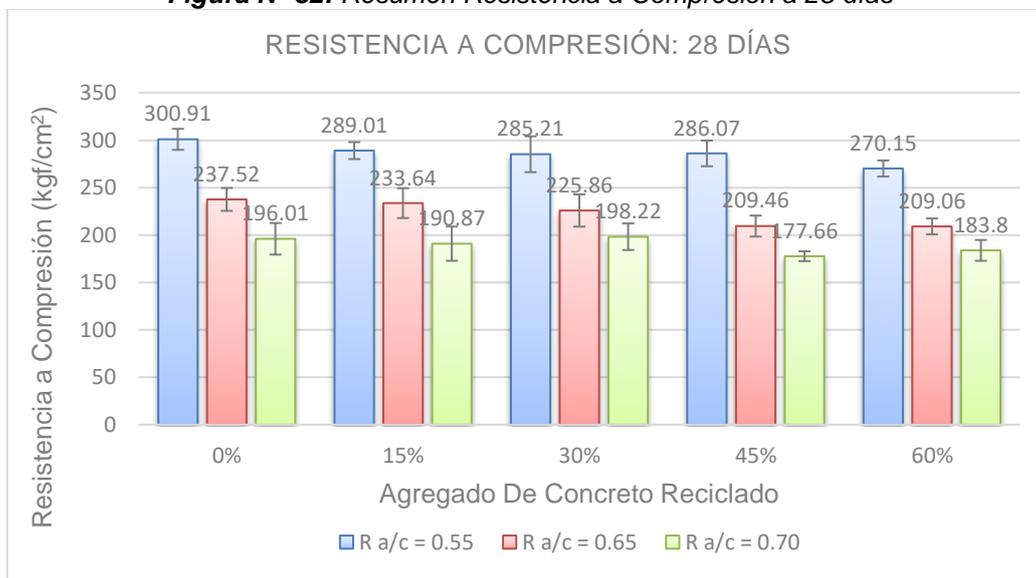
**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

En la **Figura N° 32** se muestra el resumen de la resistencia a compresión promedio del concreto para las tres relaciones agua/cemento según la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido a la mezcla, donde se demuestra que la resistencia a compresión promedio disminuye al añadirle mayor cantidad de agregado de concreto reciclado.

Al comparar la resistencia a compresión estadísticamente, usando las barras de error de la desviación estándar de los resultados para estimar la incertidumbre de los resultados, se demuestra que realmente existe una variación entre las resistencias alcanzadas de todas las relaciones agua/cemento según la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido en la mezcla, excepto para el 30% de agregado de concreto reciclado añadido, ya que existe variación entre la  $R a/c = 0.55$  con las otras dos pero no existe variación entre la  $R a/c = 0.65$  y la  $R a/c = 0.70$ .

Además, al analizar los resultados estadísticamente usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados respecto a la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido para 6 muestras, se demuestra que no existe variación entre la resistencia a compresión para todas las relaciones agua/cemento mientras se añade mayor cantidad de agregado de concreto reciclado.

**Figura N° 32: Resumen Resistencia a Compresión a 28 días**



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### 7.3.2. Succión Capilar

La succión capilar se produce debido a la acción de fuerzas de adhesión de las moléculas de agua a las paredes de poro en el concreto. La velocidad de succión capilar es un parámetro que indica el transporte del concreto, es necesario estudiarlo para verificar que sea apto para ser usado en estructuras en ambientes agresivos. En los ambientes agresivos se produce corrosión en las armaduras ocasionado por la carbonatación del recubrimiento o por el ingreso de cloruro en concreto. Además, la agresividad se puede dar en el concreto mismo, este incluye el ataque por sulfato, ácidos, magnesio o amonio. Una baja velocidad de succión capilar hace que el concreto sea más durable debido a que evita que ingresen cloruros o sulfatos que puedan dañar a la estructura.

En la **Figura N° 33** se muestra la velocidad de succión capilar para las tres relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) según el porcentaje de agregado reciclado, donde se describe que mientras aumenta la relación de agua/cemento la velocidad de succión capilar es mayor; sin embargo, a medida que aumenta la cantidad de agregado de concreto reciclado, disminuye la velocidad de succión capilar progresivamente para las tres relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70).

El aumento de la velocidad de succión capilar según la relación agua/cemento se puede deber a que existe mayor espacio entre los granos de cemento de la pasta cuando aumenta la relación agua/cemento. Esto puede ocurrir ya que, la red continua que forman los espacios entre los granos de cemento se llenan de agua (los poros capilares) y mientras el cemento se va hidratando, generan cristales que bloquean estos poros haciéndolos menos penetrantes. Para verificar lo anteriormente descrito, se puede realizar un ensayo bajo la norma ASTM C457.2006 para la determinación

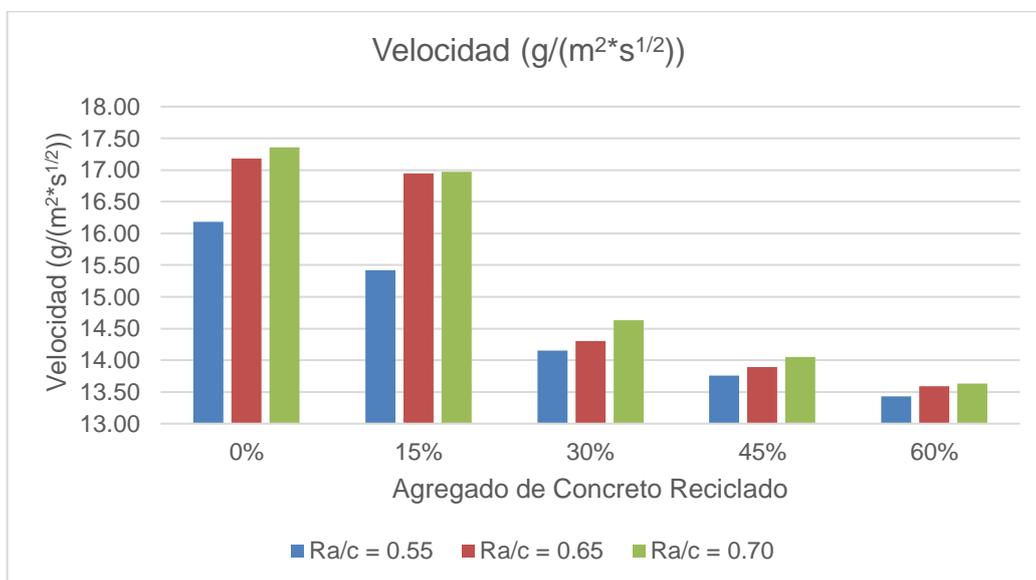
microscópica de los parámetros del sistema de vacío de aire en concreto endurecido, la cual comprende en contar los poros al observar a especímenes de concreto a través de un microscópico petrográfico. Esta norma se aplica para prever daños en el concreto, mayormente se utiliza para evaluar el daño producido por el congelamiento y descongelamiento del concreto, pero también se puede usar para otras aplicaciones en las que el contenido de aire esté involucrado.

La  $R a/c = 0.55$  tiene menor velocidad de succión capilar en comparación que la  $R a/c = 0.65$  y  $0.70$  debido a que los poros pequeños son bloqueados más fácilmente que los grandes y mientras más granos de cemento se tengan, el bloqueo será mayor, lo cual se traduce en menor permeabilidad y un hormigón más durable.

Para la  $R a/c = 0.55$  la velocidad de succión capilar promedio decrece a medida que en relación a la probeta patrón ( $16.183 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ ), se incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado, el uso del 15%, 30%, 45% y 60% de agregado de concreto reciclado es menor que el diseño patrón en un 4.71%, 12.54%, 14.98% y 17.01% respectivamente. Para la  $R a/c = 0.65$  la velocidad de succión capilar promedio decrece a medida que en relación a la probeta patrón ( $17.180 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ ), se incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado, el uso del 15%, 30%, 45% y 60% de agregado de concreto reciclado es menor que el diseño patrón en un 1.34%, 11.60%, 14.14% y 16.03% respectivamente. Para la  $R a/c = 0.70$  la velocidad de succión capilar promedio decrece a medida que en relación a la probeta patrón ( $17.356 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ ), se incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado, el uso del 15%, 30%, 45% y 60% de agregado de concreto reciclado es menor que el diseño patrón en un 2.22%, 15.68%, 19.03% y 21.45% respectivamente.

Además, se muestra que, al aumentar el contenido de agregado reciclado en la mezcla de concreto, la velocidad de succión capilar disminuye, lo cual puede deberse a que el agregado de concreto reciclado contiene residuos de cemento en su composición y esto ocasionaría que existan poros más pequeños en la pasta de cemento. Para determinar la causa exacta de este comportamiento se debe hacer un análisis de difracción de rayos X, una exploración con microscopía electrónica y un estudio petrográfico del concreto bajo la norma ASTM C856.2014 "Norma para la examinación por microscopio petrográfico del concreto endurecido". Este estudio sirve para determinar las condiciones del concreto y su probable comportamiento a futuro.

**Figura N° 33:** Gráfico de ensayo de velocidad de succión capilar



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

### 7.3.3. Análisis estadístico

En el análisis estadístico, se empleó el programa SPSS para la comprobación de datos normales y homocedasticidad, esta evaluación se realizó para los datos de las variables dependientes (resistencia a compresión y succión capilar) según las variables independientes (cantidad de agregado de concreto reciclado y relaciones agua/cemento), donde se pudo comprobar mediante la prueba de Shapiro – Wilk (el tamaño de muestra es  $n \leq 30$ ) que los datos estaban dentro de una distribución normal pues eran mayor que el  $\alpha = 0.05$  (significancia). Debido a que los datos de la variable dependiente son numéricos, se debe utilizar una prueba paramétrica y, como se están analizando 2 grupos en un mismo momento y dentro de ellos más de 2 grupos, para evaluar la variable independiente se usa un estudio transversal. Por lo tanto, al ser un estudio transversal y deber usarse una prueba paramétrica, se utilizó el ANOVA para la validación de hipótesis. En el **APÉNDICE N°5** se demuestra que los F experimentales de cada variable dependiente fueron mayores al F teórico por lo tanto se acepta la hipótesis alterna (a medida que se incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado, las propiedades mecánicas (resistencia a compresión y succión capilar del concreto varían) y se rechaza la hipótesis nula (la cantidad de agregado de concreto reciclado no influye en las propiedades mecánicas del concreto).

Además, se utilizó el Excel para el análisis de regresión, el cual permite explicar cómo se comportan las variables dependientes según las variables independientes, demostrando que los resultados obtenidos en los ensayos se comportan linealmente (ver **APÉNDICE N°5**).

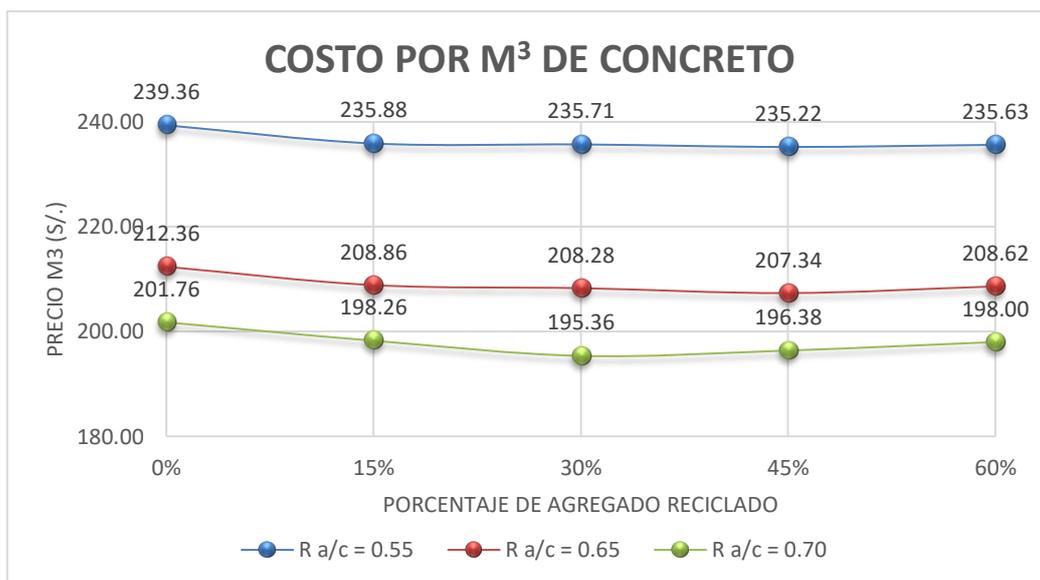
Así mismo, se usaron las barras de error de la desviación estándar para evaluar si realmente existe variación entre las cantidades de agregado reciclado añadido en la mezcla en reemplazo del

agregado grueso y entre las relaciones agua/cemento planteadas. Dichas barras nos explican a través de su longitud, de manera gráfica, la cantidad de incertidumbre que hay en nuestros datos y con ello describen el comportamiento de más del 60% de los resultados. Las barras de error, así como la desviación estándar, son variables dependiendo del tamaño de los datos a analizar, pero mientras más pequeñas sean, se podrán replicar con mayor facilidad los ensayos.

#### 7.4. Análisis de costos de producción

En la **Figura N° 34** se presenta el resumen del análisis de costo para producir el concreto con las diferentes R a/c y porcentajes de agregado reciclado, donde se observa que al incrementar el porcentaje de agregado reciclado en sustitución del agregado grueso natural, el precio disminuye en un 1.45 %, 1.53%, 1.73% y 1.56% para la R a/c = 0.55, para la R a/c = 0.65 el precio disminuye en 1.65%, 1.92%, 2.36% y 1.76% respectivamente para los diferentes porcentajes y para la R a/c = 0.70 el precio disminuye en 1.74%, 3.17%, 2.67% y 1.87% respectivamente.

**Figura N° 34:** Resultados de costo de concreto por M<sup>3</sup>



**Fuente:** Elaboración propia, 2018.

## CONCLUSIONES

- Se evaluó el efecto del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas en un concreto convencional en la ciudad de Trujillo, obteniendo que la resistencia a compresión estadísticamente se mantiene al reemplazar el 15%, 30%, 45% y 60% del agregado grueso en peso por agregado de concreto reciclado respecto a un diseño de mezcla sin uso de agregado reciclado para las 3 relaciones agua/cemento de diseño (0.55, 0.65 y 0.70). Además, la velocidad de succión capilar y el peso unitario disminuyen, en promedio de las 3 relaciones agua/cemento, 6.19% y 18.16% respectivamente en relación a la probeta patrón.
- Se realizaron ensayos para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, y en base a los resultados obtenidos, se concluye que los agregados utilizados para la investigación cumplen los requisitos para utilizarse en la fabricación de concretos en el Perú. Las granulometrías de los agregados quedan restringidas en los husos granulométricos de la norma NTP 400.037.2014, siendo importante destacar que para esta investigación se usó agregado grueso y agregado de concreto reciclado con un tamaño máximo de 1" y un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ". Además, la durabilidad a los sulfatos del agregado de concreto reciclado es 0.80% por lo que no será perjudicial para la fabricación de concretos.
- Se diseñaron mezclas de concreto convencional para  $1\text{m}^3$  de acuerdo a 3 relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) modificando la cantidad de agregado grueso por agregado de concreto reciclado en 4 cantidades (15%, 30%, 45% y 60% de agregado grueso en peso). Los diseños se hicieron manteniendo las relaciones agua/cemento con ayuda del plastificante Sikament 290N, ya que el agregado de concreto reciclado presenta mayor absorción, lo que ocasionaría que se requiera de mayor cantidad de agua para la trabajabilidad de la mezcla.
- Se evaluaron los ensayos en el concreto fresco obteniendo que todas las mezclas de concreto tienen un asentamiento que oscila en el rango de 3.5" a 4", lo cual es de importancia mantener para que se puedan correlacionar los resultados; las temperaturas según el día de elaboración de mezclas oscilan entre 18°C y 22°C. Además, para todas las relaciones agua/cemento evaluadas, el peso unitario del concreto decrece a medida que se le incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado. En relación a la probeta patrón (0% de agregado de concreto reciclado), la cual tiene un peso unitario de 2400 kgf/m<sup>3</sup>, 2490 kgf/m<sup>3</sup> y 2510 kgf/m<sup>3</sup> para la R a/c = 0.55, R a/c = 0.65 y R a/c = 0.70 respectivamente, la pérdida máxima de peso unitario es con el uso del 60% de agregado de concreto reciclado, el cual es de 4.17%, 7.23% y 7.17% respectivamente y la pérdida mínima de peso unitario es con el uso del 15% de agregado de concreto reciclado, el cual es de 0.83%, 1.61% y 1.99% para la R a/c = 0.55, R a/c = 0.65 y R a/c = 0.70 respectivamente.

- Se evaluaron los ensayos en el concreto endurecido, concluyendo que la resistencia a compresión promedio de especímenes cilíndricos de 4"x8" para las tres relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) disminuyen a medida que se aumenta la cantidad de agregado de concreto reciclado en un 15%, 30%, 45% y 60% en el diseño, las probetas con una R a/c = 0.55 presentan una disminución en su resistencia a compresión promedio a los 28 días en un 3.95%, 5.22%, 4.94% y 10.22% respectivamente con respecto al patrón (300.91 kgf/cm<sup>2</sup>), las probetas con R a/c = 0.65 presentan una disminución en su resistencia a compresión promedio a los 28 días en un 1.63%, 4.91%, 11.81% y 11.98% respectivamente con respecto al patrón (237.52 kgf/cm<sup>2</sup>) y las probetas con R a/c = 0.70 con agregado reciclado en un 15%, 45% y 60% presentan una disminución en su resistencia a compresión promedio a los 28 días en un 2.62%, 9.36% y 6.23% respectivamente con respecto al patrón y un ligero aumento con 30% de agregado reciclado en un 1.13% respecto al patrón (196.01 kgf/cm<sup>2</sup>).

Sin embargo, al analizar los resultados estadísticamente usando las barras de error de la desviación estándar para estimar la incertidumbre de los resultados respecto a la cantidad de agregado de concreto reciclado añadido, se demuestra que no existe variación entre las resistencias alcanzadas para todas las relaciones agua/cemento mientras se añade mayor cantidad de agregado de concreto reciclado.

- Se realizó el ensayo de succión capilar para las tres relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) según la cantidad de agregado de concreto reciclado (15%, 30%, 45% y 60%), donde la R a/c = 0.55 tiene menor velocidad de succión capilar en comparación que la R a/c = 0.65 y 0.70; la probeta patrón de la R a/c = 0.55 presenta una velocidad de succión capilar promedio de 16.183 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>), y a medida que se incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado, esta disminuye en 4.71%, 12.54%, 14.98% y 17.01% respectivamente; la probeta patrón de la R a/c = 0.65 presenta una velocidad de succión capilar promedio de 17.180 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>), y a medida que se incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado, esta disminuye en 1.34%, 11.60%, 14.14% y 16.03% respectivamente y la probeta patrón de la R a/c = 0.70 presenta una velocidad de succión capilar promedio de 17.365 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>), y a medida que se incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado, esta disminuye en 2.22%, 15.68%, 19.03% y 21.45% respectivamente,

Además, se demostró estadísticamente que disminuyen las velocidades de succión capilar para todas las relaciones agua/cemento mientras se añade mayor cantidad de agregado de concreto reciclado.

- Se estimaron los costos de producción del concreto con agregado reciclado demostrando que al incrementar la cantidad de agregado de concreto reciclado en sustitución del agregado grueso natural el precio disminuye. En relación a la probeta patrón (0% de agregado de concreto reciclado), la cual tiene un costo de producción por 1 m<sup>3</sup> de S/. 239.36 nuevos soles, S/. 212.36

nuevos soles y S/. 201.76 nuevos soles para la  $R\ a/c = 0.55$ ,  $R\ a/c = 0.65$  y  $R\ a/c = 0.70$  respectivamente. El costo de producción mínimo para la  $R\ a/c = 0.55$  y para la  $R\ a/c = 0.65$  es con el uso del 45% de agregado de concreto reciclado, el cual es de 1.73% y 2.36% menos que el patrón respectivamente y para la  $R\ a/c = 0.70$  es con el uso del 30% de agregado de concreto reciclado, el cual es de 3.17% menos que el patrón. El costo de producción máximo para la  $R\ a/c = 0.55$ , la  $R\ a/c = 0.65$  y  $R\ a/c = 0.70$  es con el uso del 15% de agregado de concreto reciclado, el cual es de 1.45%, 1.65 y 1.74% menos que el patrón respectivamente.

- Se compararon los datos obtenidos por influencia del agregado de concreto reciclado con un concreto convencional según las relaciones agua/cemento en las propiedades del concreto concluyendo que la mejor opción para la fabricación de concreto estructural es utilizar una  $R\ a/c = 0.65$  con 30% de agregado de concreto reciclado ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia a compresión promedio de 225.86 kgf/cm<sup>2</sup>, una velocidad de succión capilar promedio de 14.305 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) y su costo de producción es de S/. 208.28 nuevos soles y el diseño patrón  $R\ a/c = 0.65$  (con 0% de agregado de concreto reciclado) alcanzó una resistencia a compresión promedio de 237.52 kgf/cm<sup>2</sup>, una velocidad de succión capilar promedio de 17.180 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) y su costo de producción es de S/. 212.36 nuevos soles. Es decir, la resistencia a compresión promedio disminuye 4.91%, la velocidad de succión capilar promedio disminuye 11.60% y su costo de producción disminuye 1.92%.

Además, para la fabricación de concreto no estructural la mejor opción es utilizar una  $R\ a/c = 0.70$  con 15% de agregado de concreto reciclado ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia a compresión promedio de 190.87 kgf/cm<sup>2</sup>, una velocidad de succión capilar promedio de 16.971 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) y su costo de producción es de S/. 198.26 nuevos soles y el diseño patrón  $R\ a/c = 0.70$  (con 0% de agregado de concreto reciclado) alcanzó una resistencia a compresión promedio de 196.01 kgf/cm<sup>2</sup>, una velocidad de succión capilar promedio de 17.356 g/(m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) y su costo de producción es de S/. 201.76 nuevos soles. Es decir, la resistencia a compresión promedio disminuye 2.62%, la velocidad de succión capilar promedio disminuye 2.22% y su costo de producción disminuye 1.74%.

- El agregado de concreto reciclado puede sustituir al agregado grueso en la mezcla de concreto debido a que, al analizarlo estadísticamente: no pierde su propiedad mecánica más importante, que es la resistencia a compresión, mejora la succión capilar y logra aligerar el peso unitario. Es por ello que funciona como material en el diseño de mezcla. Además, contribuye con el medio ambiente ya que se logra un desarrollo sostenible presentando dos grandes ventajas: reducción de materia prima virgen y reducción de eliminación innecesaria de los materiales de demolición.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar concreto con agregado reciclado como concreto estructural en columnas y cimentaciones; y como concreto no estructural en losas deportivas, calzaduras y veredas.
- Realizar estudios de flexión para determinar aplicaciones en vigas o losas.
- El agregado reciclado debe ser triturado en una planta chancadora, para así obtener una granulometría más uniforme y acelerar el proceso de reciclado.
- Estudiar el uso de residuos de mampostería como agregado reciclado en reemplazo del agregado fino y agregado grueso.
- Realizar ensayo de diamantina en el lugar de procedencia del concreto para conocer su resistencia inicial.
- Realizar un estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento y transformación de residuos de construcción en agregado de concreto en la ciudad de Trujillo.
- Incentivar a la reutilización y reciclaje, y no solo a la eliminación, certificando a las empresas y construcciones que usan este tipo de materiales.
- Durante el ensayo de succión capilar debe existir un control de humedad en el tiempo preciso y manteniendo los bordes los más limpios posibles, tener cuidado con el nivel del agua.
- Analizar el contenido de aire atrapado en el concreto fresco y la porosidad en el concreto endurecido, además de realizar un estudio petrográfico para evaluar a detalle la succión capilar del concreto endurecido.
- Se recomienda a futuros investigadores evaluar la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto con el uso de 60% hasta 100% de agregado de concreto reciclado en reemplazo del agregado grueso. Además, evaluar la cantidad de vacíos en el concreto endurecido.

## REFERENCIAS

- A.C., I. M. (2012). *El concreto en la obra*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/abril2013/problemas.pdf>
- ACI, I. A. (2015). *Guía del contratista para la construcción en concreto de calidad*. Lima.
- Asencio, A. (2014). *Efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*. Cajamarca.
- ASOCEM. (2018). Las nuevas tecnologías del concreto aumentan la vida útil. *ASOCEM*, 3.
- Asociación Bancaria de Guatemala. (2016). Economía de la construcción. *Sector Construcción*, 3.
- Asocreto. (2011). *Agregados reciclados presentes en la rehabilitación*. Noticreto.
- Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). *El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana*.
- Bejarano, A. (2014). *Un paso hacia el desempeño integral de edificios de alto*. España: Noticreto.
- Calle Flores, R. J. (2015). *Aplicación de concreto ligero y concreto pesado*. Chiclayo.
- Cardenas, W., & Hernandez Juan. (2014). *Caracterización de los agregados de concreto reciclado*. Zapaquira.
- Chavez, C., & Sandoval, M. (2013). *Influencia del porcentaje y tamaño de concreto reciclado como sustituyente del agregado grueso sobre las propiedades en estado fresco y estado endurecido en un concreto plastificado*. Trujillo: UNT.
- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales- INDECOPI. (26 de Diciembre de 2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar el efecto de las impurezas orgánicas del agregado fino sobre la resistencia de morteros y hormigones*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 400.013.
- CSI. (2009). *Concreto en el mundo*. Estados Unidos.
- Group, S. (2018). *Sika*. Obtenido de <https://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/publicaciones/articulos-tecnicos/articulo-tecnologia-del-concreto.html>
- Hansen, T., & Narud, H. (1983). *Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate*.
- Harmsen, T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: PUCP.
- Ichaso, A. (2014). *LA PERMEABILIDAD AL AGUA COMO PARÁMETRO PARA EVALUAR LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN – PARTE II*. Córdoba.
- INDECOPI. (30 de Enero de 2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 400.019: <http://documents.mx/documents/ntp-400019-2002-abrasion-de-agregados-maquina-de-los-angeles.html>
- INDECOPI. (2009). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 339.035.
- INDECOPI. (26 de Agosto de 2009). *HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 339.033: <http://documents.tips/documents/ntp-339033-2009.html>
- INDECOPI. (2011). *AGREGADOS. determinación de La Inalterabilidad de los agregados por medio de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 400.016.
- INDECOPI. (02 de Febrero de 2011). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 400.017.
- INDECOPI. (2012). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a compresión del concreto, en muestra cilíndrica*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 339.034: <http://documents.tips/documents/ntp-339034pdf.html>
- INDECOPI, C. d. (2013). *AGREGADOS Metodo Contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 339.185.

- INDECOPI, C. d. (16 de Enero de 2013). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 400.012.
- INDECOPI, C. d. (26 de Diciembre de 2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75um (N°200) por lavado en agregados*. Obtenido de Norma Técnica Peruana 400.018.
- INEI. (2018). *Valor agregado bruto - Construcción*. Lima: INEI.
- IRAM . (2004). *IRAM 1871: Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido*. Buenos Aires.
- Jiménez, Moreno, & Ortiz. (2013). *Comportamiento mecánico y elástico de concreto con agregado grueso calizo reciclado de alta absorción*. México.
- Jordan, J., & Viera, N. (2014). *Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra*. Chimbote.
- Lanamme. (2002). *Temperatura del Concreto - Lanamme*. Obtenido de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/3-concreto/3.05.pdf>
- Lanamme. (s.f.). *Densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire de concreto ASTM C138*. Obtenido de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/3-concreto/3.07.pdf>
- Martínez, I., & Mendoza, E. (2005). *El Concreto Reciclado*. Mexico: Construdata.
- Méndez, H., & Cardenas , W. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO PROPIEDADES TÉCNICAS Y USOS*. Zipaquirá.
- Ordoñez, J. (2013). *Incorporación de principios de sostenibilidad en los sistemas constructivos para edificaciones de uso residencial en la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Pasquel , E. (1999). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. En I. A. Blanco Blasco, *Tópicos de Tecnología del Concreto* (pág. 17). Lima-Perú: Colegio de Ingenieros del Perú - Consejo Nacional.
- Piacente, P. (2011). *El hormigón reciclado, alternativa para construir edificios en Haití*. *Tendencias de la Ingeniería*, 1.
- Rivera , G. (2013). *Concreto Simple*. Cauca: Civilgeeks. Obtenido de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEOOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2004%20-%20Manejabilidad.pdf>
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y mortero*. Colombia: Bhandar.
- Silva, C. (2017). *Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento y transformación de residuos de construcción en agregado de concreto*. Lima: PUCP.
- Sumari, J. (2016). *Estudio del Concreto de mediana a alta resistencia elaborado con residuos de Concreto y Cemento Portland Tipo I*. Lima.
- Trochez, N. (2018). *Tecnología del concreto*. Lima.
- Tufino, D. (s.f.). Obtenido de Norma Técnica Peruana 339.045: [http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2010/tufino\\_dr/pdf/tufino\\_dr-TH.4.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2010/tufino_dr/pdf/tufino_dr-TH.4.pdf)
- Umacon. (2017). *Reutilizar materiales de construcción después de una demolición*. Zaragoza.
- UPN. (2014). *Manual de Estadística*. Trujillo.
- Viera, N., & Jordan, J. (2014). *Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra*. Chimbote.
- Winter, G., & Nilson, A. H. (2002). *Proyecto de estructuras de hormigón*. España: Reverté, S.A.
- Yang, K., Chung, H., & Ashour, A. (2008). *Influence of type and replacement level of recycled aggregates on concrete properties*. Estados Unidos.

## APÉNDICE

### APÉNDICE N°1. Resultados de caracterización de materiales para el concreto

#### APÉNDICE N°1.1. Caracterización de agregados

*Tabla N° 56: Resultados de granulometría del agregado fino*

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret (%)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)	NTP 400.037		Descripción de la Muestra	
						Mínimo	Máximo		
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0			Muestreo realizado a pie de obra	
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0				
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0				
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0			<b>Características Físicas</b>	
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0			Módulo de Finura : 2.13	
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0			<b>Cantidad de Material</b>	
3/8"	9.500	0.3	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0		
Nº 4	4.750	22.2	2.2	2.3	97.7	95.0	100.0	% Gravas	2.25 %
Nº 8	2.360	107.9	10.8	13.0	87.0	80.0	100.0	% Arena	92.22 %
Nº 16	1.180	118.3	11.8	24.9	75.1	50.0	85.0	%Finos	5.53 %
Nº 30	0.600	82.6	8.3	33.1	66.9	25.0	60.0		
Nº 50	0.300	118.5	11.8	45.0	55.0	5.0	30.0		
Nº 100	0.150	494.9	49.5	94.5	5.5	0.0	10.0		
Fondo		55.3	5.5	100.0	0.0	0.0	5.0		

**Tabla N° 57:** Resultados de granulometría del agregado grueso

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret (%)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)	NTP 400.037		Descripción de la Muestra
						Mínimo	Máximo	
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	Muestreo realizado a pie de cantera
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	<b>Características Físicas</b>
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	
3/4"	19.000	308.0	10.3	10.3	89.7	90	100	D60 1.13
1/2"	12.500	1085.3	36.2	46.4	53.6	42	69	D30 0.94
3/8"	9.500	585.3	19.5	66.0	34.0	20	55	D10 0.74
Nº 4	4.750	902.7	30.1	96.0	4.0	0	15	Coefficiente de uniformidad 1.20
Nº 8	2.360	105.7	3.5	99.6	0.4	0	5	Coefficiente de curvatura 1.06
Nº 16	1.180	6.3	0.2	99.8	0.2	0	0	<b>Cantidad de Material</b>
Nº 30	0.600	0.0	0.0	99.8	0.2	0	0	
Nº 50	0.300	0.0	0.0	99.8	0.2	0	0	
Nº 100	0.150	0.0	0.0	99.8	0.2	0	0	% Arena 3.73 %
Fondo		6.7	0.2	100.0	0.0	0	0	%Finos 0.22 %

**Tabla N° 58:** Resultados de granulometría del agregado de concreto reciclado

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret (%)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)	NTP 400.037		Descripción de la Muestra
						Mínimo	Máximo	
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	Muestreo realizado a pie de cantera
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	<b>Características Físicas</b>
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	
3/4"	19.000	103.0	3.4	3.4	96.6	90	100	D60 1.11
1/2"	12.500	1180.7	39.4	42.8	57.2	42	69	D30 0.99
3/8"	9.500	877.7	29.3	72.0	28.0	20	55	D10 0.68
Nº 4	4.750	537.3	17.9	90.0	10.0	0	15	Coeficiente de uniformidad 1.12
Nº 8	2.360	128.3	4.3	94.2	5.8	0	5	Coeficiente de curvatura 1.30
Nº 16	1.180	53.0	1.8	96.0	4.0	0	0	<b>Cantidad de Material</b>
Nº 30	0.600	35.0	1.2	97.2	2.8	0	0	
Nº 50	0.300	30.3	1.0	98.2	1.8	0	0	% Gravas 89.96 %
Nº 100	0.150	0.0	0.0	98.2	1.8	0	0	% Arena 8.22 %
Fondo		54.7	1.8	100.0	0.0	0	0	%Finos 1.82 %

**Tabla N° 59:** Resultados de contenido de humedad de los agregados

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Parámetros	A. GRUESO			A. FINO			A. RECICLADO		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
A = Peso tara (gf)	670	654	652	160	280	296	514	456	382
B = Peso tara + M. Húmeda (gf)	3670	3654	3652	3160	3280	3296	3514	3456	3382
C = Peso tara + M. Seca (gf)	3638	3622	3622	3130	3249	3265	3402	3356	3282
D = (B-A): Peso M. Húmeda (gf)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
E = (C-A): Peso M. Seca (gf)	2968	2968	2970	2971	2969	2969	2888	2900	2900
W%=(D-E)/E x 100	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	3.9	3.4	3.4
<b>Humedad Promedio (%)</b>	<b>1.1</b>			<b>1.0</b>			<b>3.6</b>		
<b>Varianza</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.1</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.2</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.1</b>		

**Tabla N° 60:** Resultados de peso unitario de los agregados

DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SECO SUELTO Y COMPACTO									
Parámetros	A. GRUESO			A. FINO			A. RECICLADO		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
<b>PUSS</b>									
T= Peso recipiente (kgf)	5.5								
V= Volumen recipiente (m³)	0.01374								
G= P. Recipiente + P. Muestra (kgf)	28.5	28.4	28.5	27.4	27.1	27.1	23.7	23.7	23.4
Peso unitario = (G-T)/ V	1672	1667	1670	1590	1570	1568	1327	1326	1300
<b>Peso unitario Promedio (kgf/m³)</b>	<b>1670</b>			<b>1580</b>			<b>1320</b>		
<b>Varianza</b>	<b>6.8</b>			<b>139.1</b>			<b>232.5</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>2.6</b>			<b>11.8</b>			<b>15.2</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>		
<b>PUCS</b>									
T= Peso recipiente (kgf)	5.5								
V= Volumen recipiente (m³)	0.01374								
G= P. Recipiente + P. Muestra (kgf)	29.7	29.8	30.0	30.3	30.4	30.3	25.5	25.8	25.8
Peso unitario = (G-T)/ V	1757	1766	1783	1806	1808	1805	1456	1477	1474
<b>Peso unitario Promedio (kgf/m³)</b>	<b>1770</b>			<b>1810</b>			<b>1470</b>		
<b>Varianza</b>	<b>181.7</b>			<b>1.6</b>			<b>127.9</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>13.5</b>			<b>1.3</b>			<b>11.3</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>		

**Tabla N° 61:** Resultados de cantidad de finos de los agregados

DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA #200									
Parámetros	A. GRUESO			A. FINO			A. RECICLADO		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
A = Peso muestra seca sin lavar (gf)	2500	2500	2500	1000	1000	1000	2500	2500	2500
B = Peso muestra seca lavada (gf)	2454	2446	2464	942	950	944	2386	2430	2404
% de material fino = ((A-B)/A) x 100	1.84	2.16	1.44	5.77	5.03	5.63	4.56	2.8	3.84
Contenido de Finos Promedio (%)	1.81			5.48			3.73		
Varianza	0.1			0.2			0.8		
Desviación estándar	0.4			0.4			0.9		
Coefficiente de variación	0.2			0.1			0.2		

**Tabla N° 62:** Resultados de peso específico del agregado fino

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN			
Parámetros	Agregado Fino		
	m1	m2	m3
A = Peso tara (gf)	287	137	84
B = Peso Fiola (gf)	172	171	171
C = P. Fiola + Muestra (gf)	672	671	671
D = P. Seco + P. Tara (gf)	786	636	583
E = (D-A): P. Muestra Seca (gf)	499	499	499
F = P. Fiola + Agua (cm <sup>3</sup> )	669	670	670
G = P. Fiola + P. Muestra + Agua (gf)	983	984	984
S = P. Muestra Saturada (gf)	500	500	500
Peso específico aparente = E/(F+E-G)	2.7	2.7	2.7
Peso específico saturado superficialmente seco = S/(F+S-G)	2.7	2.7	2.7
Peso específico de masa = E/(F+S-G)	2.7	2.7	2.7
Absorción (%) = (S-E/E) x 100	0.2	0.2	0.2
<b>Pea : Peso específico aparente Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2680</b>		
<b>PeSSS : Peso específico Saturado Superficialmente Seco Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2690</b>		
<b>Pen : Peso específico nominal Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2680</b>		
<b>Abs : Absorción Promedio (%)</b>	<b>0.20</b>		

**Tabla N° 63:** Análisis estadístico del peso específico del agregado fino

Parámetros	Pea	PeSSS	Pen	Abs
Varianza	0.0	0.0	0.0	0.0
Desviación estándar	0.0	0.0	0.0	0.0
Coefficiente de variación	0.0	0.0	0.0	0.2

**Tabla N° 64:** Resultados de peso específico del agregado grueso y el agregado de concreto reciclado

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN						
Parámetros	A. GRUESO			A. RECICLADO		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
A = Peso tara (gf)	269	253	134	672	82	303
B = Peso canastilla (gf)	1582	1580	1580	1556	1556	1556
C = Peso sumergido + P. Canastilla (gf)	3459	3470	3466	2681	2676	2693
D = Peso seco + P. Tara (gf)	3226	3224	3104	2455	1866	2087
E = Peso saturado + Tara (gf)	3295	3278	3150	2672	2082	2303
F = (C-B): Peso sumergido (gf)	1877	1890	1886	1125	1120	1137
G = (D-A): Peso seco (gf)	2957	2971	2970	1783	1784	1784
H = (E-A): Peso Saturado	3026	3025	3016	2000	2000	2000
Peso específico aparente = $G/(H-F)$	2.6	2.6	2.6	2.0	2.0	2.1
Peso específico saturado superficialmente seco = $H/(H-F)$	2.6	2.7	2.7	2.3	2.3	2.3
Peso específico nominal = $G/(G-F)$	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8
Absorción (%) = $(H-G/G) \times 100$	2.3	1.8	1.5	12.2	12.1	12.1
<b>Pea : Peso específico aparente Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2610</b>			<b>2040</b>		
<b>PeSSS : Peso específico Saturado Superficialmente Seco Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2660</b>			<b>2290</b>		
<b>Pen : Peso específico nominal Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2740</b>			<b>2720</b>		
<b>Abs : Absorción Promedio (%)</b>	<b>1.90</b>			<b>12.13</b>		

**Tabla N° 65:** Análisis estadístico del peso específico del agregado grueso el agregado de concreto reciclado

Parámetros	A. GRUESO				A. RECICLADO			
	Pea	PeSSS	Pen	Abs	Pea	PeSSS	Pen	Abs
<b>Varianza</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

**Tabla N° 66:** Resultados de abrasión del agregado grueso y el agregado de concreto reciclado

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN						
Parámetros	A. GRUESO			A. RECICLADO		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3
A = Peso tara (gf)	382	680	474	376	651	592
B = P. Muestra seca + P. Tara (gf)	5358	5677	5466	5318	5641	5578
C= P. Muestra tamiz N°12 + P. Tara (gf)	3812	4113	3910	4248	4552	4501
Pa = (B-A): P. Muestra seca (gf)	4976	4997	4992	4942	4990	4986
Pb = (C-A): P. Muestra tamiz N°12 (gf)	3430	3433	3436	3872	3901	3909
% de desgaste = ((Pa-Pb)/Pa) x 100	31	31	31	22	22	22
<b>Desgaste promedio (%)</b>	<b>31</b>			<b>22</b>		
<b>Varianza</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>0.1</b>			<b>0.1</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>		

**Tabla N° 67:** Resultados de durabilidad a los sulfatos del agregado de concreto reciclado

Durabilidad de sulfato de magnesio del agregado grueso y reciclado						
Fracción		Gradación Original (%)	Peso de la fracción ensayada (gf)	Peso retenido después del ensayo (gf)	Pérdida total (%)	Pérdida corregida (%)
Pasa	Retiene					
3/4"	1/2"	67%	672.0	671.0	0.15%	0.67%
1/2"	3/8"	33%	330.8	266.7	19.38%	0.14%
Total		100%	1002.8	937.7	19.53%	0.80%

**Tabla N° 68:** Resultados de contenido de vacíos de los agregados

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍOS									
Parámetros	A. GRUESO			A. FINO			A. RECICLADO		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
<b>Contenido de vacíos - PUSS</b>									
W = P. Unitario agua (kgf/cm <sup>3</sup> )	1000								
A = P. Específico aparente (gf/cm <sup>3</sup> )	2.6			2.7			2.0		
B = P. Unitario seco (kgf/cm <sup>3</sup> )	1672	1667	1671	1590	1570	1568	1327	1327	1300
% de vacíos = ((A x W)-B)/(A x W) x 100	36	36	36	41	41	42	35	35	36
<b>Promedio de contenido de vacíos (%)</b>	<b>36</b>			<b>41</b>			<b>36</b>		
<b>Varianza</b>	<b>0.0</b>			<b>0.2</b>			<b>0.6</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>0.1</b>			<b>0.4</b>			<b>0.7</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>		
<b>Contenido de vacíos - PUCS</b>									
W = P. Unitario agua (kgf/cm <sup>3</sup> )	1000								
A = P. Específico aparente (gf/cm <sup>3</sup> )	2.6			2.7			2.0		
B = P. Unitario seco (kgf/cm <sup>3</sup> )	1757	1766	1783	1806	1808	1805	1456	1477	1474
% de vacíos = ((A x W)-B)/(A x W) x 100	33	32	32	33	33	33	29	28	28
<b>Promedio de contenido de vacíos (%)</b>	<b>32</b>			<b>33</b>			<b>28</b>		
<b>Varianza</b>	<b>0.3</b>			<b>0.0</b>			<b>0.3</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>0.5</b>			<b>0.0</b>			<b>0.6</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>		

## APÉNDICE N°2. Diseño de mezcla con el método ACI 211

*Tabla N° 69: Diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup> de concreto, Ra/c = 0.55*

RELACION A/C = 0.55					
Parámetros	0%	15%	30%	45%	60%
<b>I. Relación Agua/Cemento (a/c)</b>					
R a/c	0.55				
<b>II. Volumen unitario de agua: Asentamiento = 3" - 4"</b>					
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	205	205	205	205	205
<b>III. Cantidad de cemento</b>					
Kgf/m <sup>3</sup>	373	373	373	373	373
Bolsas	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
<b>IV. Cantidad de agregados</b>					
P.U.C.S. - A.G. (kgf/m <sup>3</sup> )	1770	1470	1470	1470	1470
Factor	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Cantidad A.G. por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )	1186	1008	830	652	474
Cantidad A.R. por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )	-	148	295	443	591
<b>V. Cantidad de agregado fino</b>					
Volumen A. Grueso (m <sup>3</sup> )	0.45498	0.38673	0.31849	0.25024	0.18199
Volumen A. Reciclado (m <sup>3</sup> )	-	0.07228	0.14455	0.21683	0.28910
Volumen Agua (m <sup>3</sup> )	0.20500	0.20500	0.20500	0.20500	0.20500
Volumen Aire (m <sup>3</sup> )	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000
Volumen Cemento (m <sup>3</sup> )	0.12765	0.12765	0.12765	0.12765	0.12765
Suma de volúmenes (m <sup>3</sup> )	0.80763	0.81165	0.81568	0.81971	0.82374
Volumen A. Fino (m <sup>3</sup> )	0.19237	0.18835	0.18432	0.18029	0.17626
Cantidad por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )	516	505	495	484	473
<b>VI. Resumen de cantidad de agregados por m<sup>3</sup></b>					
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	373	373	373	373	373
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	205	205	205	205	205
Agregado Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	1186	1008	830	652	474
Agregado Reciclado (kgf/m <sup>3</sup> )	-	148	295	443	591
Agregado Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	516	505	495	484	473
<b>VII. Corrección por contenido de humedad en agregados</b>					
Agregado Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (kgf/m <sup>3</sup> )	-	153	306	459	612
Agregado Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	522	511	512	501	473
<b>VIII. Corrección de cantidad de agua</b>					
Agregado Grueso (Lt/m <sup>3</sup> )	-10	-9	-7	-6	-4
Agregado Reciclado (Lt/m <sup>3</sup> )	-	-13	-25	-38	-50
Agregado Fino (Lt/m <sup>3</sup> )	4	4	4	4	4
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	211	222	233	244	256

<b>IX. Diseño Final para 1m<sup>3</sup></b>					
Agua (kgf)	211	211	211	211	211
Cemento (kgf)	373	373	373	373	373
Agregado Grueso (kgf)	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (kgf)	-	153	306	459	612
Agregado Fino (kgf)	522	511	512	501	473
Plastificante (kgf)	0.000	0.000	0.373	0.745	1.278
<b>TOTAL</b>	<b>2303</b>	<b>2277</b>	<b>2264</b>	<b>2237</b>	<b>2194</b>

*Tabla N° 70: Diseño de mezcla para elaboración de probetas, Ra/c = 0.55*

Parámetros	0%	15%	30%	45%	60%
<b>X. Diseño Final para elaboración probetas</b>					
Factor de conversión	0.04000	0.04000	0.04000	0.04000	0.04000
Agua (kgf)	8.431	8.431	8.431	8.431	8.431
Cemento (kgf)	14.909	14.909	14.909	14.909	14.909
Agregado Grueso (kgf)	47.937	40.746	33.556	26.365	19.175
Agregado Reciclado (kgf)	0.000	6.122	12.243	18.365	24.487
Agregado Fino (kgf)	20.862	20.425	20.497	20.049	18.922
Plastificante (kgf)	0.000	0.000	0.015	0.030	0.042
<b>TOTAL</b>	<b>92.139</b>	<b>90.634</b>	<b>89.652</b>	<b>88.150</b>	<b>85.966</b>

**Tabla N° 71:** Diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup> de concreto, Ra/c = 0.65

RELACION A/C = 0.65					
Parámetros	0%	15%	30%	45%	60%
<b>I. Relación Agua/Cemento (a/c)</b>					
R a/c	0.65				
<b>II. Volumen unitario de agua: Asentamiento = 3"- 4"</b>					
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	205	205	205	205	205
<b>III. Cantidad de cemento</b>					
kgf/m <sup>3</sup>	315	315	315	315	315
Bolsas	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
<b>IV. Cantidad de agregados</b>					
P.U.C.S. - A.G. (kgf/m <sup>3</sup> )	1770	1470	1470	1470	1470
Factor	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Cantidad A.G. por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )	1186	1008	830	652	474
Cantidad A.R. por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )	-	148	295	443	591
<b>V. Cantidad de agregado fino</b>					
Volumen A. Grueso (m <sup>3</sup> )	0.45498	0.38673	0.31849	0.25024	0.18199
Volumen A. Reciclado (m <sup>3</sup> )	-	0.07228	0.14455	0.21683	0.28910
Volumen Agua (m <sup>3</sup> )	0.20500	0.20500	0.20500	0.20500	0.20500
Volumen Aire (m <sup>3</sup> )	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000
Volumen Cemento (m <sup>3</sup> )	0.10801	0.10801	0.10801	0.10801	0.10801
Suma de volúmenes (m <sup>3</sup> )	0.78799	0.79202	0.79604	0.80007	0.80410
Volumen A. Fino (m <sup>3</sup> )	0.21201	0.20798	0.20396	0.19993	0.19590
Cantidad por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )	569	558	547	537	526
<b>VI. Resumen de cantidad de agregados por m<sup>3</sup></b>					
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	315	315	315	315	315
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	205	205	205	205	205
Agregado Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	1186	1008	830	652	474
Agregado Reciclado (kgf/m <sup>3</sup> )	-	148	295	443	591
Agregado Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	569	558	547	537	526
<b>VII. Corrección por contenido de humedad en agregados</b>					
Agregado Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (kgf/m <sup>3</sup> )	-	153	306	459	612
Agregado Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	575	564	567	556	526
<b>VIII. Corrección de cantidad de agua</b>					
Agregado Grueso (Lt/m <sup>3</sup> )	-10	-9	-7	-6	-4
Agregado Reciclado (Lt/m <sup>3</sup> )	-	-13	-25	-38	-50
Agregado Fino (Lt/m <sup>3</sup> )	5	5	4	4	4
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	210	222	233	244	255

<b>IX. Diseño Final para 1m<sup>3</sup></b>					
Agua (kgf)	210	210	210	210	210
Cemento (kgf)	315	315	315	315	315
Agregado Grueso (kgf)	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (kgf)	-	153	306	459	612
Agregado Fino (kgf)	575	564	567	556	526
Plastificante (kgf)	0.000	0.000	0.315	0.631	1.276
<b>TOTAL</b>	<b>2299</b>	<b>2273</b>	<b>2260</b>	<b>2234</b>	<b>2189</b>

*Tabla N° 72: Diseño de mezcla para elaboración de probetas, Ra/c = 0.65*

Parámetros	0%	15%	30%	45%	60%
<b>X. Diseño Final para elaboración probetas</b>					
Factor de conversión	0.04000	0.04000	0.04000	0.04000	0.04000
Agua (kgf)	8.414	8.414	8.414	8.414	8.414
Cemento (kgf)	12.615	12.615	12.615	12.615	12.615
Agregado Grueso (kgf)	47.937	40.746	33.556	26.365	19.175
Agregado Reciclado (kgf)	0.000	6.122	12.243	18.365	24.487
Agregado Fino (kgf)	22.992	22.555	22.681	22.233	21.030
Plastificante (kgf)	0.000	0.000	0.013	0.025	0.042
<b>TOTAL</b>	<b>91.958</b>	<b>90.452</b>	<b>89.522</b>	<b>88.018</b>	<b>85.763</b>

**Tabla N° 73:** Diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup> de concreto, Ra/c = 0.70

RELACION A/C = 0.70					
Parámetros	0%	15%	30%	45%	60%
<b>I. Relación Agua/Cemento (a/c)</b>					
R a/c	0.7				
<b>II. Volumen unitario de agua: Asentamiento = 3" - 4"</b>					
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	205	205	205	205	205
<b>III. Cantidad de cemento</b>					
kg/m <sup>3</sup>	293	293	293	293	293
Bolsas	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
<b>IV. Cantidad de agregados</b>					
P.U.C.S. - A.G. (kgf/m <sup>3</sup> )	1770	1470	1470	1470	1470
Factor	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Cantidad A.G. por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )	1186	1008	830	652	474
Cantidad A.R. por m <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	-	148	295	443	591
<b>V. Cantidad de agregado fino</b>					
Volumen A. Grueso (m <sup>3</sup> )	0.45498	0.38673	0.31849	0.25024	0.18199
Volumen A. Reciclado (m <sup>3</sup> )	-	0.07228	0.14455	0.21683	0.28910
Volumen Agua (m <sup>3</sup> )	0.20500	0.20500	0.20500	0.20500	0.20500
Volumen Aire (m <sup>3</sup> )	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000
Volumen Cemento (m <sup>3</sup> )	0.10029	0.10029	0.10029	0.10029	0.10029
Suma de volúmenes (m <sup>3</sup> )	0.78027	0.78430	0.78833	0.79236	0.79639
Volumen A. Fino (m <sup>3</sup> )	0.21973	0.21570	0.21167	0.20764	0.20361
Cantidad por m <sup>3</sup> (kgf/m <sup>3</sup> )	590	579	568	557	546
<b>VI. Resumen de cantidad de agregados por m<sup>3</sup></b>					
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	293	293	293	293	293
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	205	205	205	205	205
Agregado Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	1186	1008	830	652	474
Agregado Reciclado (kgf/m <sup>3</sup> )	-	148	295	443	591
Agregado Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	590	579	568	557	546
<b>VII. Corrección por contenido de humedad en agregados</b>					
Agregado Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (kgf/m <sup>3</sup> )	-	153	306	459	612
Agregado Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	596	585	588	577	546
<b>VIII. Corrección de cantidad de agua</b>					
Agregado Grueso (Lt/m <sup>3</sup> )	-10	-9	-7	-6	-4
Agregado Reciclado (Lt/m <sup>3</sup> )	-	-13	-25	-38	-50
Agregado Fino (Lt/m <sup>3</sup> )	5	5	5	5	4
Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	210	221	233	244	255

<b>IX. Diseño Final para 1m<sup>3</sup></b>					
Agua (kgf)	210	210	210	210	210
Cemento (kgf)	293	293	293	293	293
Agregado Grueso (kgf)	1198	1019	839	659	479
Agregado Reciclado (kgf)	-	153	306	459	612
Agregado Fino (kgf)	596	585	588	577	546
Plastificante (kgf)	0.000	0.000	0.293	0.586	1.275
<b>TOTAL</b>	<b>2297</b>	<b>2271</b>	<b>2259</b>	<b>2233</b>	<b>2187</b>

*Tabla N° 74: Diseño de mezcla para elaboración de probetas, Ra/c = 0.70*

Parámetros	0%	15%	30%	45%	60%
<b>X. Diseño Final para elaboración probetas</b>					
Factor de conversión	0.04000	0.04000	0.04000	0.04000	0.04000
Agua (kgf)	8.407	8.407	8.407	8.407	8.407
Cemento (kgf)	11.714	11.714	11.714	11.714	11.714
Agregado Grueso (kgf)	47.937	40.746	33.556	26.365	19.175
Agregado Reciclado (kgf)	0.000	6.122	12.243	18.365	24.487
Agregado Fino (kgf)	23.829	23.392	23.539	23.091	21.858
Plastificante (kgf)	0.000	0.000	0.012	0.023	0.042
<b>TOTAL</b>	<b>91.887</b>	<b>90.381</b>	<b>89.471</b>	<b>87.966</b>	<b>85.683</b>

### APÉNDICE N°3. Resultados de ensayos del concreto en estado fresco y endurecido

#### APÉNDICE N°3.1. Ensayos del concreto en estado fresco

*Tabla N° 75: Resultados de ensayo de temperatura*

TEMPERATURA			
Ra/c =	0.55	0.65	0.70
0%	19.00 °C	19.00 °C	19.00 °C
15%	18.00 °C	20.00 °C	21.00 °C
30%	22.00 °C	19.50 °C	19.00 °C
45%	20.00 °C	19.50 °C	20.00 °C
60%	19.50 °C	20.00 °C	20.00 °C

*Tabla N° 76: Resultados de ensayo de asentamiento*

ASENTAMIENTO (pulgadas)					
Ra/c = 0.55	m1	m2	m3	Promedio	Desviación estándar
0%	4"	3.75"	4"	4"	0.144
15%	3.75"	4"	4"	4"	0.144
30%	4"	3.5"	3.75"	3.75"	0.250
45%	3.75"	4"	3.75"	3.75"	0.144
60%	4"	4"	3.75"	4"	0.144
Ra/c = 0.65	m1	m2	m3	Promedio	Desviación estándar
0%	3.75"	3.75"	4"	3.75"	0.144
15%	4"	4"	3.75"	4"	0.144
30%	3.5"	3.75"	4"	3.75"	0.250
45%	3.75"	4"	4"	4"	0.144
60%	4"	3.75"	4"	4"	0.144
Ra/c = 0.70	m1	m2	m3	Promedio	Desviación estándar
0%	4.25"	4"	4"	4"	0.144
15%	3.75"	4"	3.75"	3.75"	0.144
30%	4"	3.75"	4"	4"	0.144
45%	4"	4"	3.75"	4"	0.144
60%	3.5"	3.75"	3.5"	3.5"	0.144

**Tabla N° 77:** Resultados de ensayo de peso unitario,  $R_{a/c} = 0.55$

DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO ( $R_{a/c} = 0.55$ )															
Parámetros	0%			15%			30%			45%			60%		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
	<b>PU</b>														
T= Peso recipiente (kgf)	3.3														
V= Volumen recipiente (m <sup>3</sup> )	0.00699														
G= P. Recipiente + P. Muestra (kgf)	20.1	20.1	20.0	20.0	20.0	20.0	19.8	19.8	19.9	19.7	19.7	19.6	19.3	19.5	19.4
Peso unitario = (G-T)/ V	2403	2399	2384	2384	2383	2378	2357	2351	2362	2339	2344	2321	2289	2308	2300
<b>Peso unitario Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2400</b>			<b>2380</b>			<b>2360</b>			<b>2330</b>			<b>2300</b>		
<b>Varianza</b>	<b>102.8</b>			<b>9.2</b>			<b>29.6</b>			<b>144.2</b>			<b>87.6</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>10.1</b>			<b>3.0</b>			<b>5.4</b>			<b>12.0</b>			<b>9.4</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>		

**Tabla N° 78:** Resultados de ensayo de peso unitario,  $R_{a/c} = 0.65$

DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO ( $R_{a/c} = 0.65$ )															
Parámetros	0%			15%			30%			45%			60%		
	m1	m2	m3												
<b>PU</b>															
T= Peso recipiente (kgf)	3.3														
V= Volumen recipiente (m <sup>3</sup> )	0.00699														
G= P. Recipiente + P. Muestra (kgf)	20.7	20.8	20.8	20.4	20.4	20.5	20.1	20.1	20.0	19.8	19.9	19.8	19.5	19.5	19.5
Peso unitario = (G-T)/ V	2490	2491	2496	2439	2446	2452	2394	2398	2381	2350	2365	2358	2308	2317	2316
<b>Peso unitario Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2490</b>			<b>2450</b>			<b>2390</b>			<b>2360</b>			<b>2310</b>		
<b>Varianza</b>	<b>11.7</b>			<b>42.9</b>			<b>78.7</b>			<b>57.6</b>			<b>22.6</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>3.4</b>			<b>6.5</b>			<b>8.9</b>			<b>7.6</b>			<b>4.8</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>														

**Tabla N° 79:** Resultados de ensayo de peso unitario,  $R_{a/c} = 0.70$

DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO ( $R_{a/c} = 0.70$ )															
Parámetros	0%			15%			30%			45%			60%		
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3
<b>PU</b>															
T= Peso recipiente (kgf)	3.3														
V= Volumen recipiente (m <sup>3</sup> )	0.00699														
G= P. Recipiente + P. Muestra (kgf)	20.9	20.9	20.9	20.5	20.4	20.6	20.1	20.1	20.1	19.8	19.9	20.0	19.7	19.7	19.6
Peso unitario = $(G-T)/V$	2508	2510	2519	2460	2442	2465	2397	2399	2402	2360	2364	2377	2340	2334	2323
<b>Peso unitario Promedio (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2510</b>			<b>2460</b>			<b>2400</b>			<b>2370</b>			<b>2330</b>		
<b>Varianza</b>	<b>30.7</b>			<b>141.5</b>			<b>6.3</b>			<b>82.6</b>			<b>72.4</b>		
<b>Desviación estándar</b>	<b>5.5</b>			<b>11.9</b>			<b>2.5</b>			<b>9.1</b>			<b>8.5</b>		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>		

**APÉNDICE N°3.2.** Ensayos del concreto en estado endurecido

**Tabla N° 80:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 3 días,  $Ra/c = 0.55$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $Ra/c = 0.55$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	13,636.00	10.14	80.75	168.87	161.98	9.91
	m2	14,014.00	10.15	80.91	173.20		
	m3	12,174.00	10.13	80.6	151.04		
	m4	13,020.00	10.14	80.75	161.24		
	m5	12,109.00	10.16	81.07	149.36		
	m6	13,553.00	10.13	80.6	168.15		
15%	m1	13,864.00	10.14	80.75	171.69	154.45	10.57
	m2	12,490.00	10.17	81.23	153.76		
	m3	12,629.00	10.13	80.6	156.69		
	m4	11,688.00	10.15	80.91	144.46		
	m5	11,542.00	10.16	81.07	142.37		
	m6	12,734.00	10.14	80.75	157.70		
30%	m1	12,514.00	10.13	80.6	155.26	143.95	6.95
	m2	11,467.00	10.18	81.39	140.89		
	m3	10,982.00	10.17	81.23	135.20		
	m4	11,403.00	10.13	80.6	141.48		
	m5	12,003.00	10.15	80.91	148.35		
	m6	11,576.00	10.17	81.23	142.51		
45%	m1	12,197.00	10.14	80.75	151.05	150.67	9.67
	m2	11,030.00	10.17	81.23	135.79		
	m3	13,448.00	10.17	81.23	165.55		
	m4	11,946.00	10.19	81.55	146.49		
	m5	12,278.00	10.13	80.6	152.33		
	m6	12,337.00	10.14	80.75	152.78		
60%	m1	11,979.00	10.16	81.07	147.76	144.79	7.87
	m2	10,742.00	10.17	81.23	132.24		
	m3	12,098.00	10.16	81.07	149.23		
	m4	11,358.00	10.13	80.6	140.92		
	m5	11,676.00	10.18	81.39	143.46		
	m6	12,650.00	10.19	81.55	155.12		

**Tabla N° 81:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 7 días,  $Ra/c = 0.55$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $Ra/c = 0.55$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	18,694.00	10.14	80.75	231.50	211.82	20.28
	m2	18,909.00	10.17	81.23	232.78		
	m3	15,137.00	10.18	81.39	185.98		
	m4	15,355.00	10.15	80.91	189.78		
	m5	16,957.00	10.13	80.6	210.38		
	m6	17,803.00	10.14	80.75	220.47		
15%	m1	16,303.00	10.17	81.23	200.70	202.68	11.83
	m2	15,319.00	10.18	81.39	188.22		
	m3	17,348.00	10.15	80.91	214.41		
	m4	16,458.00	10.18	81.39	202.21		
	m5	17,620.00	10.14	80.75	218.20		
	m6	15,560.00	10.15	80.91	192.31		
30%	m1	16,956.00	10.17	81.23	208.74	196.99	12.22
	m2	16,556.00	10.13	80.6	205.41		
	m3	16,730.00	10.15	80.91	206.77		
	m4	15,094.00	10.14	80.75	186.92		
	m5	14,507.00	10.17	81.23	178.59		
	m6	15,913.00	10.18	81.39	195.52		
45%	m1	17,075.00	10.13	80.6	211.85	202.01	8.65
	m2	16,166.00	10.17	81.23	199.02		
	m3	17,389.00	10.18	81.39	213.65		
	m4	15,667.00	10.15	80.91	193.63		
	m5	16,068.00	10.13	80.6	199.35		
	m6	15,743.00	10.15	80.91	194.57		
60%	m1	17,728.00	10.16	81.07	218.68	215.56	3.37
	m2	17,386.00	10.17	81.23	214.03		
	m3	17,736.00	10.18	81.39	217.91		
	m4	17,607.00	10.15	80.91	217.61		
	m5	16,898.00	10.13	80.6	209.65		
	m6	17,505.00	10.17	81.23	215.50		

**Tabla N° 82:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 28 días,  $R_{a/c} = 0.55$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $R_{a/c} = 0.55$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	24,704.00	10.13	80.60	306.50	300.91	11.08
	m2	24,337.00	10.15	80.91	300.79		
	m3	23,284.00	10.17	81.23	286.64		
	m4	25,548.00	10.14	80.75	316.38		
	m5	24,696.00	10.15	80.91	305.23		
	m6	23,368.00	10.13	80.60	289.93		
15%	m1	24,233.00	10.17	81.23	298.33	289.01	8.99
	m2	22,960.00	10.18	81.39	282.10		
	m3	22,247.00	10.15	80.91	274.96		
	m4	23,642.00	10.14	80.75	292.78		
	m5	24,092.00	10.17	81.23	296.59		
	m6	23,546.00	10.18	81.39	289.30		
30%	m1	20,522.00	10.13	80.60	254.62	285.21	18.92
	m2	22,945.00	10.15	80.91	283.59		
	m3	24,132.00	10.16	81.07	297.67		
	m4	25,276.00	10.17	81.23	311.17		
	m5	22,863.00	10.18	81.39	280.91		
	m6	22,834.00	10.13	80.60	283.30		
45%	m1	23,366.00	10.13	80.60	289.90	286.07	13.54
	m2	22,076.00	10.16	81.07	272.31		
	m3	23,656.00	10.15	80.91	292.37		
	m4	22,562.00	10.14	80.75	279.41		
	m5	25,034.00	10.17	81.23	308.19		
	m6	22,320.00	10.18	81.39	274.24		
60%	m1	21,893.00	10.19	81.55	268.46	270.15	8.51
	m2	21,645.00	10.17	81.23	266.47		
	m3	22,388.00	10.18	81.39	275.07		
	m4	23,041.00	10.15	80.91	284.77		
	m5	21,051.00	10.13	80.60	261.18		
	m6	21,565.00	10.18	81.39	264.96		

**Tabla N° 83:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 3 días,  $Ra/c = 0.65$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $Ra/c = 0.65$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	11,805.00	10.14	80.75	146.19	141.57	9.96
	m2	10,290.00	10.18	81.39	126.43		
	m3	12,043.00	10.15	80.91	148.84		
	m4	11,446.00	10.17	81.23	140.91		
	m5	10,857.00	10.16	81.07	133.92		
	m6	12,343.00	10.13	80.60	153.14		
15%	m1	8,662.00	10.16	81.07	106.85	106.92	5.49
	m2	8,031.00	10.14	80.75	99.46		
	m3	9,272.00	10.15	80.91	114.60		
	m4	8,472.00	10.13	80.60	105.11		
	m5	8,365.00	10.13	80.60	103.78		
	m6	9,092.00	10.18	81.39	111.71		
30%	m1	8,489.00	10.18	81.39	104.30	112.48	6.15
	m2	9,781.00	10.16	81.07	120.65		
	m3	9,063.00	10.15	80.91	112.01		
	m4	9,373.00	10.14	80.75	116.07		
	m5	9,325.00	10.15	80.91	115.25		
	m6	8,641.00	10.16	81.07	106.59		
45%	m1	9,527.00	10.18	81.39	117.05	112.96	9.04
	m2	8,928.00	10.13	80.60	110.77		
	m3	8,204.00	10.14	80.75	101.60		
	m4	9,875.00	10.16	81.07	121.81		
	m5	9,930.00	10.15	80.91	122.73		
	m6	8,380.00	10.14	80.75	103.78		
60%	m1	11,758.00	10.17	81.23	144.75	133.21	14.61
	m2	10,223.00	10.17	81.23	125.85		
	m3	9,308.00	10.16	81.07	114.81		
	m4	9,797.00	10.13	80.60	121.55		
	m5	11,341.00	10.15	80.91	140.17		
	m6	12,283.00	10.14	80.75	152.11		

**Tabla N° 84:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 7 días,  $Ra/c = 0.65$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $Ra/c = 0.65$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	12,999.00	10.17	81.23	160.03	178.91	14.02
	m2	15,870.00	10.13	80.60	196.90		
	m3	13,701.00	10.14	80.75	169.67		
	m4	15,270.00	10.14	80.75	189.10		
	m5	13,890.00	10.16	81.07	171.33		
	m6	15,027.00	10.13	80.60	186.44		
15%	m1	13,597.00	10.13	80.60	168.70	164.02	16.04
	m2	13,380.00	10.15	80.91	165.37		
	m3	15,062.00	10.18	81.39	185.06		
	m4	11,758.00	10.13	80.60	145.88		
	m5	11,742.00	10.17	81.203	144.55		
	m6	14,125.00	10.15	80.91	174.58		
30%	m1	13,745.00	10.17	81.23	169.21	166.15	10.27
	m2	12,733.00	10.16	81.07	157.06		
	m3	14,519.00	10.13	80.60	180.14		
	m4	12,534.00	10.16	81.07	154.61		
	m5	12,966.00	10.13	80.60	160.87		
	m6	14,246.00	10.18	81.39	175.03		
45%	m1	12,378.00	10.17	81.23	152.38	160.6	8.24
	m2	14,057.00	10.17	81.23	173.05		
	m3	12,258.00	10.17	81.23	150.90		
	m4	13,062.00	10.15	80.91	161.44		
	m5	12,936.00	10.13	80.60	160.50		
	m6	13,457.00	10.18	81.39	165.34		
60%	m1	13,310.00	10.16	81.07	164.18	164.36	9.48
	m2	14,022.00	10.13	80.60	173.97		
	m3	14,030.00	10.14	80.75	173.75		
	m4	13,278.00	10.16	81.07	163.78		
	m5	13,140.00	10.15	80.91	162.40		
	m6	12,029.00	10.17	81.23	148.09		

**Tabla N° 85:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 28 días,  $Ra/c = 0.65$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $Ra/c = 0.65$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	20,466.00	10.17	81.23	251.95	237.52	12.06
	m2	20,587.00	10.18	81.39	252.94		
	m3	18,520.00	10.16	81.07	228.44		
	m4	18,859.00	10.13	80.60	233.98		
	m5	18,874.00	10.15	80.91	233.27		
	m6	18,239.00	10.17	81.23	224.54		
15%	m1	19,376.00	10.17	81.23	238.53	233.64	15.72
	m2	19,496.00	10.16	81.07	240.48		
	m3	20,396.00	10.15	80.91	252.08		
	m4	19,558.00	10.14	80.75	242.20		
	m5	17,301.00	10.16	81.07	213.41		
	m6	17,510.00	10.18	81.39	215.14		
30%	m1	19,996.00	10.14	80.75	247.63	225.86	17.02
	m2	18,995.00	10.17	81.23	233.84		
	m3	16,732.00	10.18	81.39	205.58		
	m4	19,419.00	10.16	81.07	239.53		
	m5	17,788.00	10.17	81.23	218.98		
	m6	16,923.00	10.14	80.75	209.57		
45%	m1	17,357.00	10.14	80.75	214.95	209.46	11.08
	m2	16,630.00	10.18	81.39	204.32		
	m3	17,294.00	10.16	81.07	213.32		
	m4	16,793.00	10.14	80.75	207.96		
	m5	15,605.00	10.18	81.39	191.73		
	m6	18,236.00	10.17	81.23	224.50		
60%	m1	17,721.00	10.16	81.07	218.59	209.06	8.40
	m2	16,665.00	10.14	80.75	206.38		
	m3	16,455.00	10.15	80.91	203.37		
	m4	16,715.00	10.16	81.07	206.18		
	m5	16,119.00	10.14	80.75	199.62		
	m6	17,819.00	10.15	80.91	220.23		

**Tabla N° 86:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 3 días,  $Ra/c = 0.70$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $Ra/c = 0.70$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	8,739.00	10.16	81.07	107.80	106.25	2.16
	m2	8,827.00	10.18	81.39	108.45		
	m3	8,287.00	10.13	80.60	102.82		
	m4	8,721.00	10.15	80.91	107.79		
	m5	8,542.00	10.18	81.39	104.95		
	m6	8,566.00	10.16	81.07	105.66		
15%	m1	8,153.00	10.13	80.60	101.15	99.08	3.70
	m2	7,781.00	10.18	81.39	95.60		
	m3	7,786.00	10.13	80.60	96.60		
	m4	7,925.00	10.14	80.75	98.14		
	m5	7,912.00	10.17	81.23	97.40		
	m6	8,592.00	10.18	81.39	105.57		
30%	m1	6,582.00	10.15	80.91	81.35	87.77	3.50
	m2	7,277.00	10.15	80.91	89.94		
	m3	7,099.00	10.18	81.39	87.22		
	m4	7,440.00	10.17	81.23	91.59		
	m5	7,197.00	10.18	81.39	88.43		
	m6	7,139.00	10.16	81.07	88.06		
45%	m1	7,589.00	10.18	81.39	93.24	90.66	10.32
	m2	6,782.00	10.14	80.75	83.99		
	m3	6,486.00	10.15	80.91	80.16		
	m4	8,410.00	10.17	81.23	103.53		
	m5	8,238.00	10.16	81.07	101.62		
	m6	6,627.00	10.18	81.39	81.42		
60%	m1	7,800.00	10.17	81.23	96.02	105.19	7.70
	m2	8,808.00	10.13	80.60	109.28		
	m3	9,479.00	10.15	80.91	117.15		
	m4	7,942.00	10.14	80.75	98.35		
	m5	8,644.00	10.15	80.91	106.83		
	m6	8,424.00	10.18	81.39	103.50		

**Tabla N° 87:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 7 días,  $Ra/c = 0.70$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $Ra/c = 0.70$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	11,533.00	10.18	81.39	141.70	141.63	15.32
	m2	12,106.00	10.17	81.23	149.03		
	m3	10,935.00	10.18	81.39	134.35		
	m4	11,949.00	10.13	80.60	148.25		
	m5	12,966.00	10.14	80.75	160.57		
	m6	9,375.00	10.15	80.91	115.87		
15%	m1	10,068.00	10.15	80.91	124.43	132.84	13.57
	m2	10,118.00	10.14	80.75	125.30		
	m3	11,961.00	10.13	80.60	148.40		
	m4	9,314.00	10.16	81.07	114.89		
	m5	11,087.00	10.17	81.23	136.49		
	m6	11,892.00	10.13	80.60	147.54		
30%	m1	9,004.00	10.18	81.39	110.63	116.85	9.63
	m2	9,961.00	10.15	80.91	123.11		
	m3	10,276.00	10.18	81.39	126.26		
	m4	8,641.00	10.13	80.60	107.21		
	m5	8,628.00	10.14	80.75	106.85		
	m6	10,280.00	10.15	80.91	127.05		
45%	m1	9,401.00	10.16	81.07	115.96	114.14	9.82
	m2	8,369.00	10.14	80.75	103.64		
	m3	8,312.00	10.16	81.07	102.53		
	m4	9,637.00	10.17	81.23	118.64		
	m5	9,314.00	10.14	80.75	115.34		
	m6	10,415.00	10.15	80.91	128.72		
60%	m1	9,767.00	10.14	80.75	120.95	133.46	10.87
	m2	12,055.00	10.13	80.60	149.57		
	m3	11,268.00	10.18	81.39	138.44		
	m4	11,125.00	10.17	81.23	136.96		
	m5	9,811.00	10.13	80.60	121.72		
	m6	10,731.00	10.13	80.60	133.14		

**Tabla N° 88:** Resultados de ensayo de resistencia a compresión a 28 días,  $Ra/c = 0.70$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN $Ra/c = 0.70$							
Variable	Muestra	Fuerza	Diámetro	Área	f'c	f'c promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar
0%	m1	15,284.00	10.18	81.39	187.79	196.01	16.66
	m2	14,105.00	10.17	81.23	173.64		
	m3	17,076.00	10.14	80.75	211.47		
	m4	14,795.00	10.15	80.91	182.86		
	m5	17,203.00	10.16	81.07	212.20		
	m6	16,803.00	10.14	80.75	208.09		
15%	m1	16,492.00	10.13	80.60	204.62	190.87	18.06
	m2	17,050.00	10.14	80.75	211.15		
	m3	14,477.00	10.17	81.23	178.22		
	m4	16,683.00	10.18	81.39	204.98		
	m5	14,403.00	10.16	81.07	177.66		
	m6	13,640.00	10.15	80.91	168.58		
30%	m1	15,816.00	10.17	81.23	194.71	198.22	14.00
	m2	15,550.00	10.18	81.39	191.06		
	m3	15,780.00	10.13	80.60	195.78		
	m4	17,643.00	10.14	80.75	218.49		
	m5	14,503.00	10.15	80.91	179.25		
	m6	17,028.00	10.16	81.07	210.04		
45%	m1	15,003.00	10.17	81.23	184.70	177.66	5.20
	m2	14,205.00	10.16	81.07	175.22		
	m3	14,842.00	10.17	81.23	182.72		
	m4	13,953.00	10.13	80.60	173.11		
	m5	13,857.00	10.13	80.60	171.92		
	m6	14,426.00	10.15	80.91	178.30		
60%	m1	15,919.00	10.13	80.60	197.51	183.80	11.00
	m2	14,904.00	10.18	81.39	183.12		
	m3	13,808.00	10.16	81.07	170.32		
	m4	15,884.00	10.15	80.91	196.32		
	m5	14,229.00	10.14	80.75	176.21		
	m6	14,564.00	10.17	81.23	179.29		

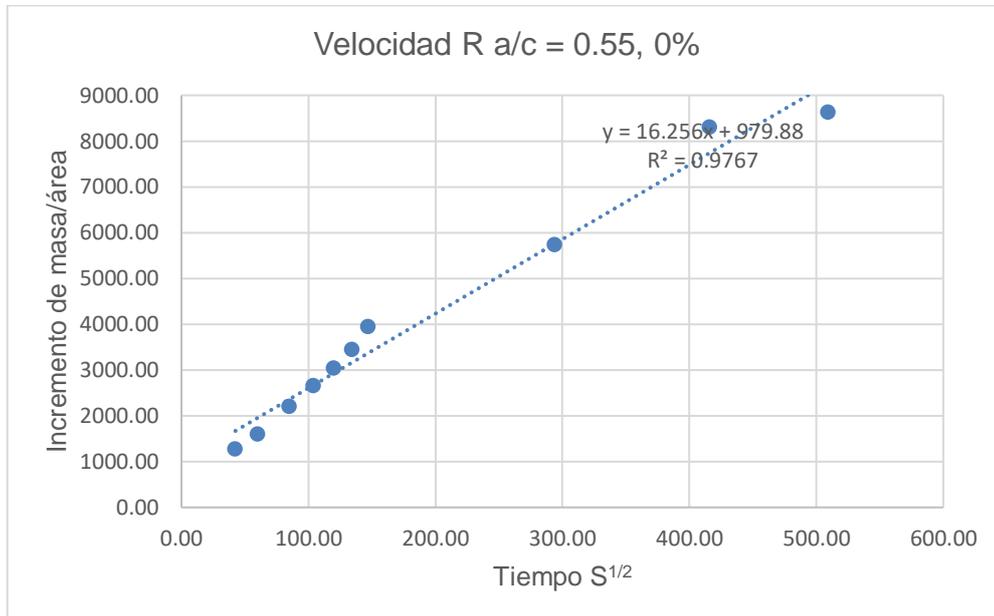
**Tabla N° 89:** Incremento de masas para el ensayo de succión capilar  $Ra/c = 0.55$  Muestra N°1

Ra/c = 0.55							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
Área (m <sup>2</sup> )	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
Martes (15:30)	821.60	763.80	832.00	849.50	791.50	0	0.00
Martes (16:00)	831.30	765.00	841.80	857.40	799.60	1800	42.43
Martes (16:30)	833.80	777.90	844.60	859.70	801.90	3600	60.00
Martes (17:30)	838.40	783.10	849.20	864.00	806.80	7200	84.85
Martes (18:30)	841.90	786.60	852.50	866.30	809.50	10800	103.92
Martes (19:30)	844.80	790.00	855.50	869.20	812.30	14400	120.00
Martes (20:30)	847.90	793.80	858.70	873.40	815.60	18000	134.16
Martes (21:30)	851.70	797.50	862.30	877.60	818.90	21600	146.97
Miércoles (15:30)	865.30	814.10	875.90	887.90	831.20	86400	293.94
Jueves (15:30)	884.90	824.40	890.90	902.40	843.90	172800	415.69
Viernes (15:30)	887.40	825.60	891.70	904.10	844.70	259200	509.12

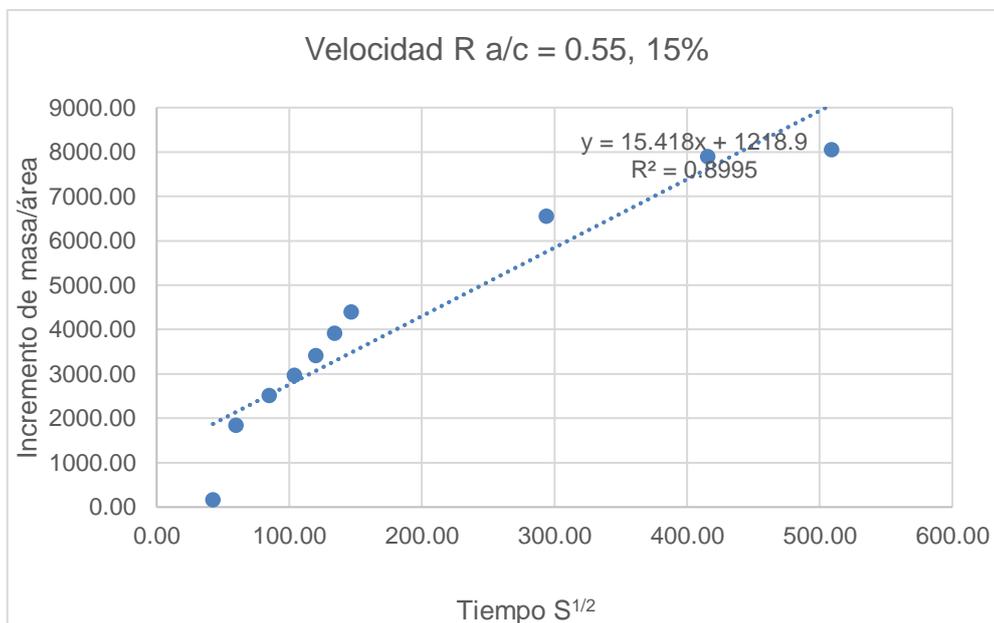
**Tabla N° 90:** Capacidad de succión capilar  $Ra/c = 0.55$  Muestra N°1

Ra/c = 0.55							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99		
Área (m <sup>2</sup> )	0.77	0.78	0.76	0.77	0.77		
Martes (15:30)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
Martes (16:00)	1272.94	156.21	1247.77	1058.10	1084.89	1800	42.43
Martes (16:30)	1601.02	1835.43	1604.28	1366.16	1392.95	3600	60.00
Martes (17:30)	2204.69	2512.32	2189.97	1942.09	2049.24	7200	84.85
Martes (18:30)	2664.00	2967.92	2610.14	2250.14	2410.87	10800	103.92
Martes (19:30)	3044.57	3410.51	2992.11	2638.56	2785.89	14400	120.00
Martes (20:30)	3451.38	3905.16	3399.55	3201.10	3227.88	18000	134.16
Martes (21:30)	3950.06	4386.80	3857.92	3763.63	3669.88	21600	146.97
Miércoles (15:30)	5734.81	6547.65	5589.52	5143.18	5317.30	86400	293.94
Jueves (15:30)	8306.95	7888.42	7499.38	7085.27	7018.30	172800	415.69
Viernes (15:30)	8635.02	8044.63	7601.24	7312.97	7125.45	259200	509.12

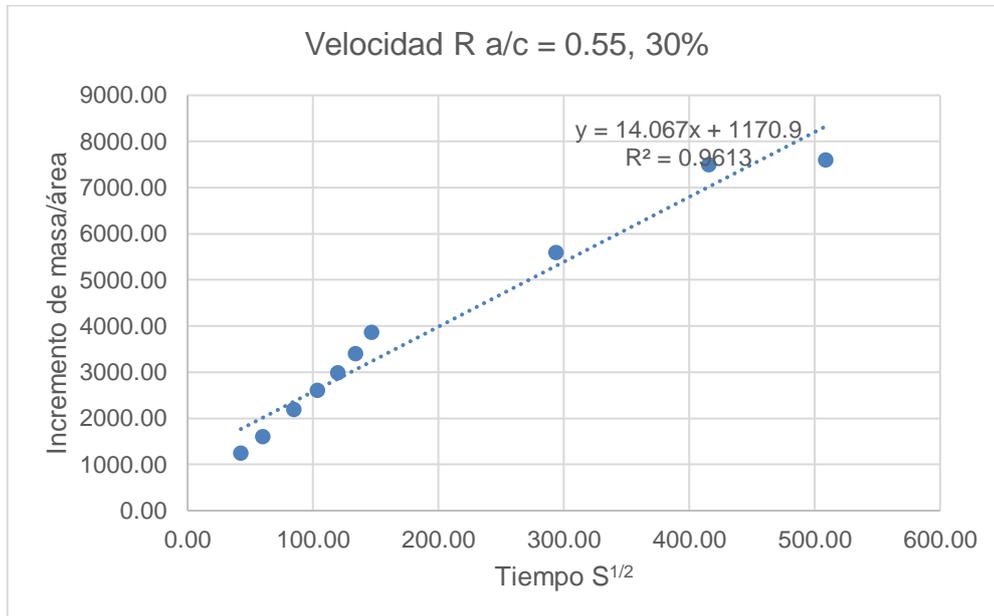
**Figura N° 35:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.55$ , 0% de Agregado Reciclado Muestra N°1



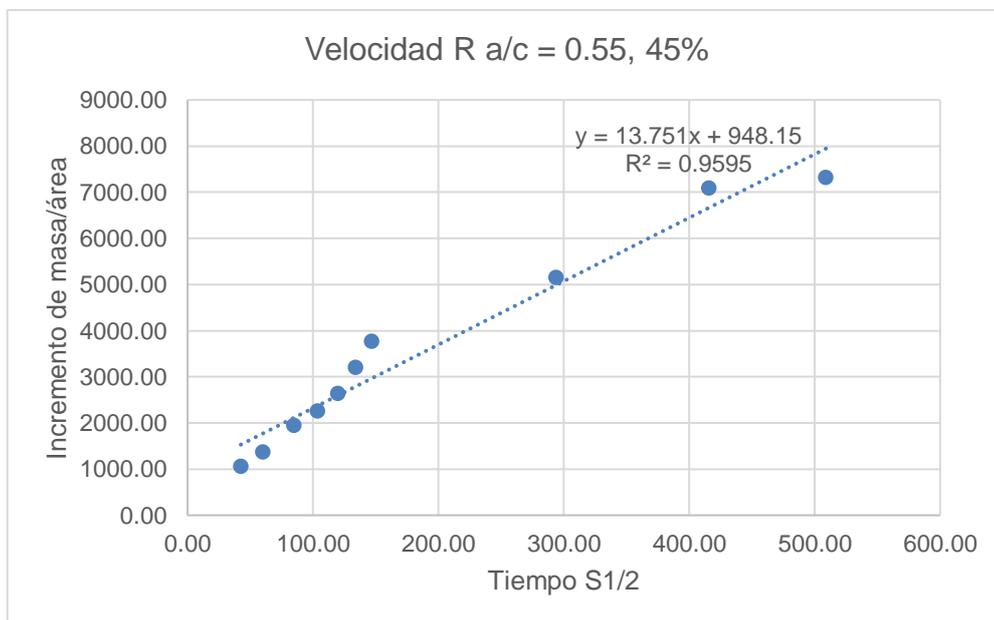
**Figura N° 36:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.55$ , 15% de Agregado Reciclado Muestra N°1



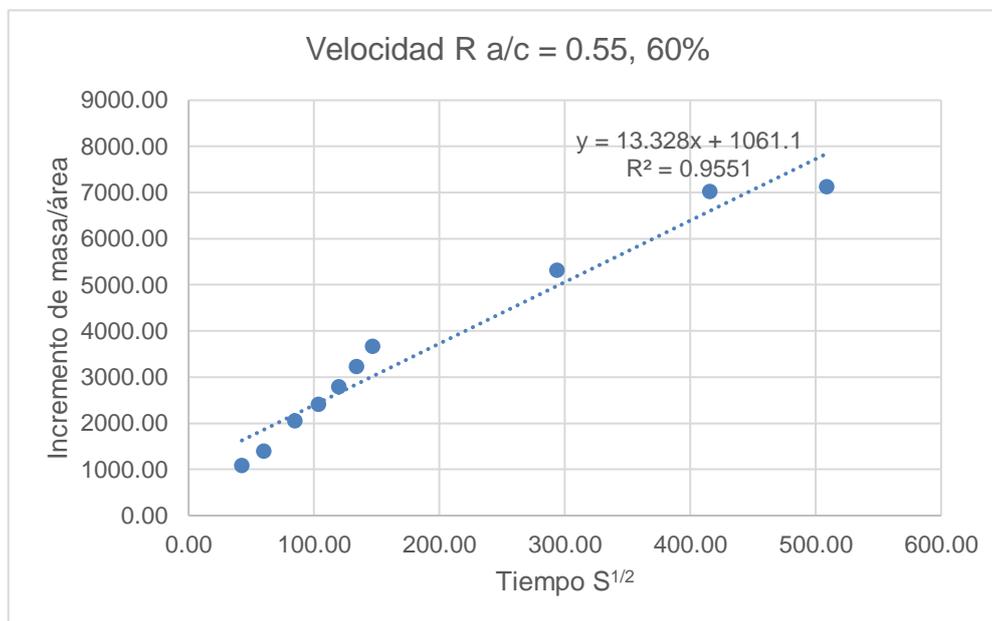
**Figura N° 37:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.55$ , 30% de Agregado Reciclado Muestra N°1



**Figura N° 38:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.55$ , 45% de Agregado Reciclado Muestra N°1



**Figura N° 39:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.55$ , 60% de Agregado Reciclado Muestra N°1



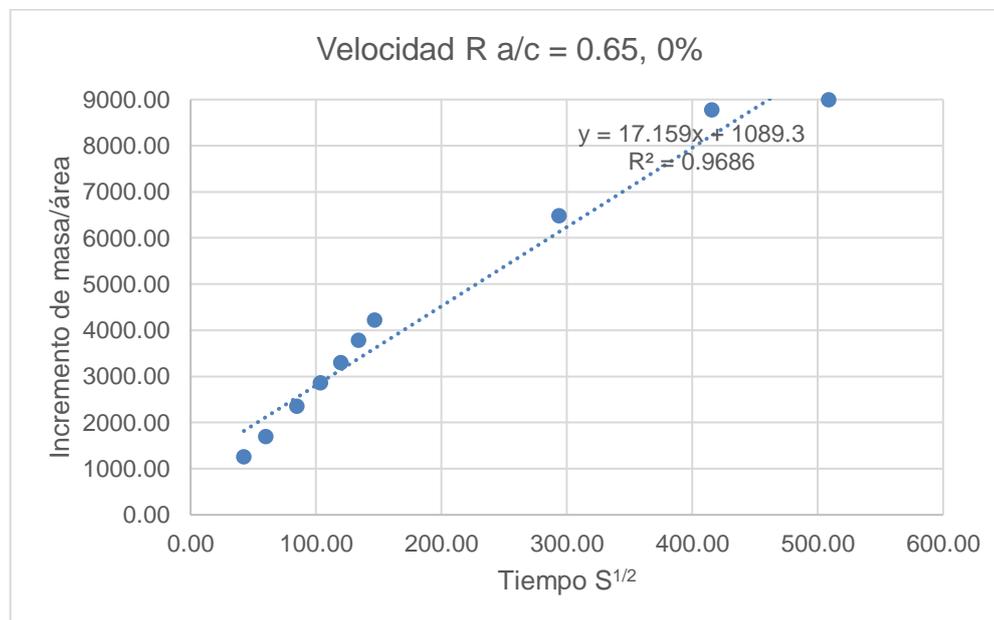
**Tabla N° 91:** Incremento de masas para el ensayo de succión capilar  $Ra/c = 0.65$  Muestra N°1

Ra/c = 0.65							S	S <sup>1/2</sup>
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%			
Diámetro (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10			
Área (m <sup>2</sup> )	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			
Martes (15:30)	794.30	806.70	794.20	837.30	831.70	0	0.00	
Martes (16:00)	804.00	817.60	805.50	845.30	845.30	1800	42.43	
Martes (16:30)	807.40	820.70	808.90	848.50	850.00	3600	60.00	
Martes (17:30)	812.50	826.80	815.10	853.00	853.40	7200	84.85	
Martes (18:30)	816.50	830.50	819.70	856.60	861.00	10800	103.92	
Martes (19:30)	819.90	834.40	823.40	859.60	865.00	14400	120.00	
Martes (20:30)	823.60	839.00	827.20	863.80	869.40	18000	134.16	
Martes (21:30)	827.00	843.90	831.40	866.10	875.10	21600	146.97	
Miércoles (15:30)	844.60	861.90	847.30	881.80	888.90	86400	293.94	
Jueves (15:30)	862.40	875.20	855.40	891.40	893.30	172800	415.69	
Viernes (15:30)	864.10	876.10	855.90	892.60	894.20	259200	509.12	

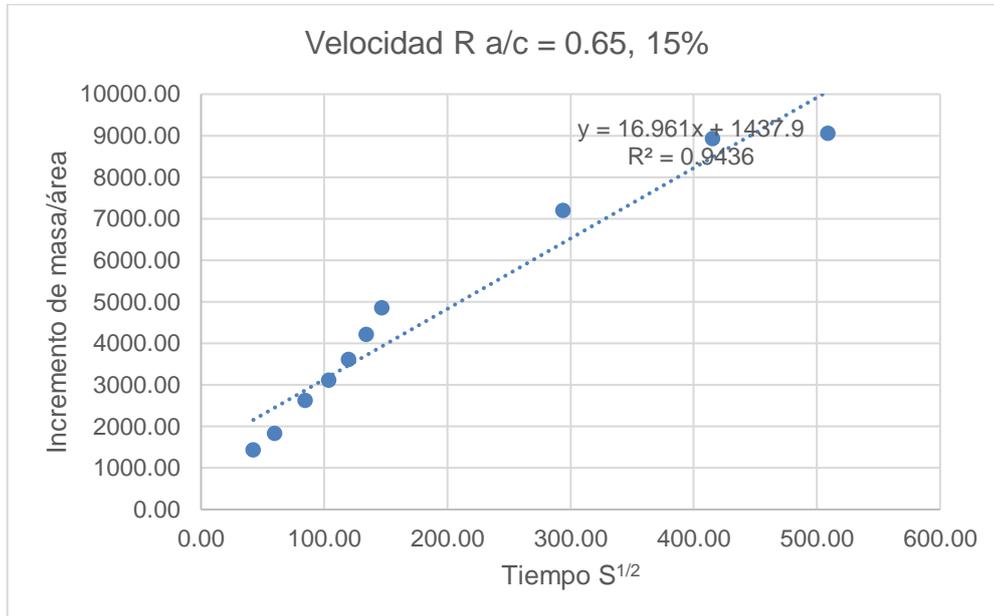
**Tabla N° 92:** Capacidad de succión capilar Ra/c = 0.65 Muestra N°1

Ra/c = 0.65							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99		
Área (m <sup>2</sup> )	0.77	0.75	0.77	0.78	0.77		
Martes (15:30)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
Martes (16:00)	1250.00	1420.31	1472.43	1071.50	1784.75	1800	42.43
Martes (16:30)	1688.14	1824.25	1915.46	1500.10	2401.53	3600	60.00
Martes (17:30)	2345.36	2619.10	2723.35	2102.81	2847.72	7200	84.85
Martes (18:30)	2860.82	3101.23	3322.74	2584.99	3845.08	10800	103.92
Martes (19:30)	3298.96	3609.41	3804.87	2986.80	4370.00	14400	120.00
Martes (20:30)	3775.77	4208.81	4300.02	3549.33	4947.42	18000	134.16
Martes (21:30)	4213.91	4847.30	4847.30	3857.39	5695.44	21600	146.97
Miércoles (15:30)	6481.94	7192.76	6919.13	5960.20	7506.43	86400	293.94
Jueves (15:30)	8775.75	8925.80	7974.59	7246.00	8083.85	172800	415.69
Viernes (15:30)	8994.83	9043.08	8039.74	7406.72	8201.96	259200	509.12

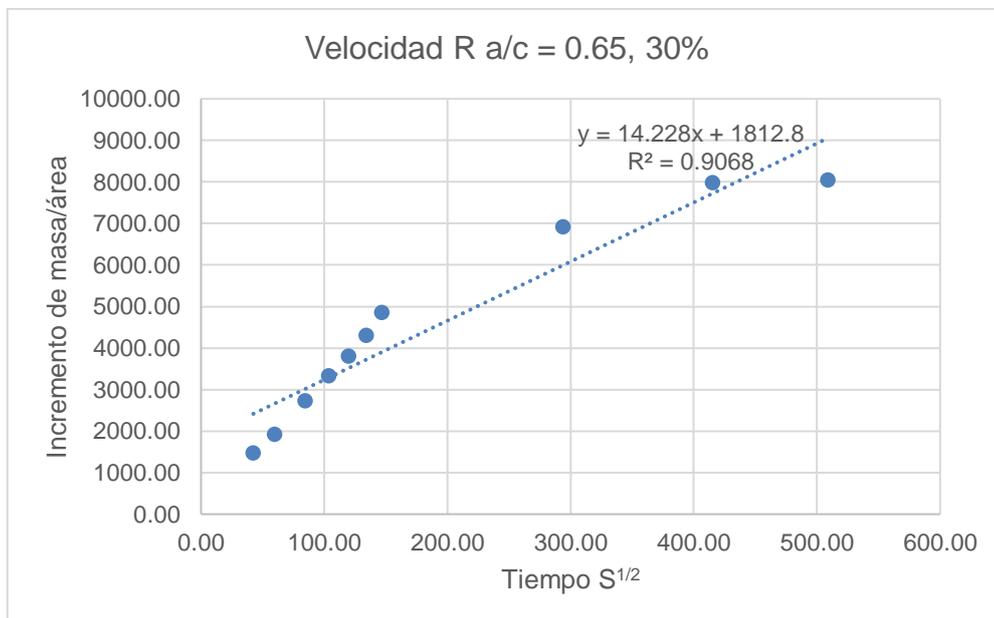
**Figura N° 40:** Velocidad succión capilar Ra/c = 0.65, 0% de Agregado Reciclado Muestra N°1



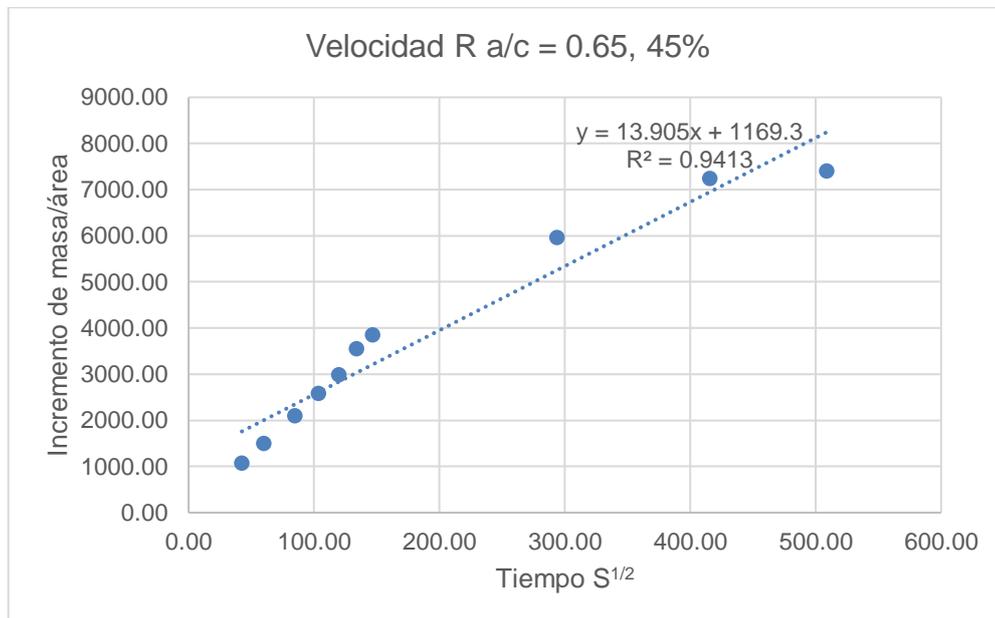
**Figura N° 41:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 15% de Agregado Reciclado Muestra N°1



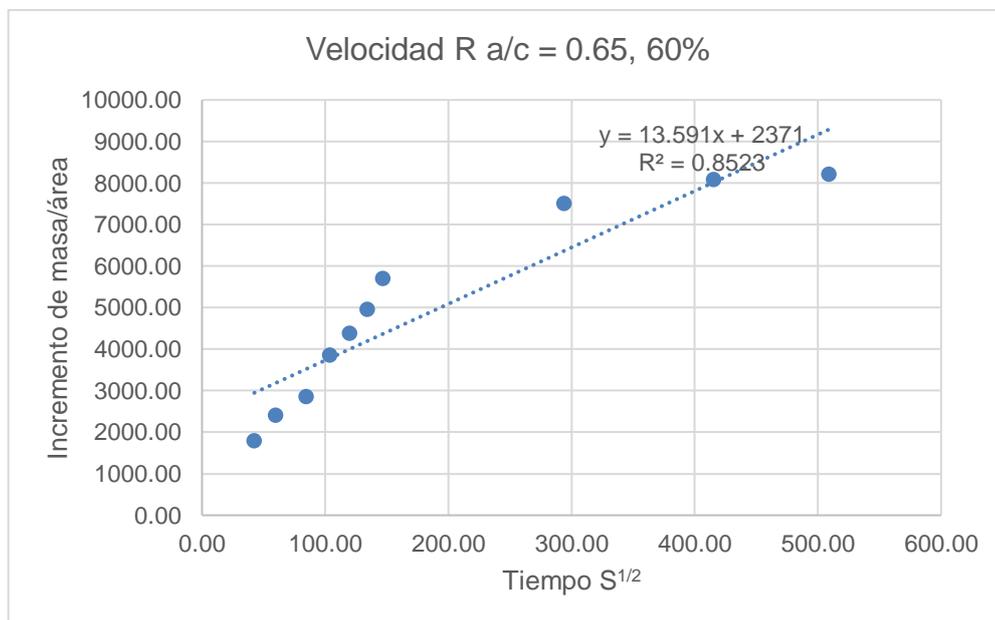
**Figura N° 42:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 30% de Agregado Reciclado Muestra N°1



**Figura N° 43:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 45% de Agregado Reciclado Muestra N°1



**Figura N° 44:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 60% de Agregado Reciclado Muestra N°1



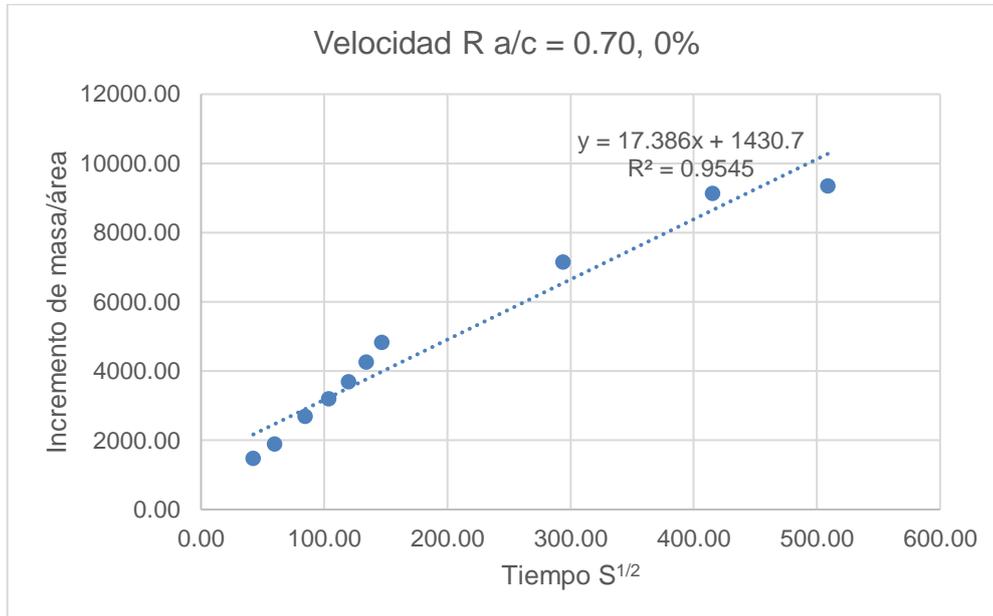
**Tabla N° 93:** Incremento de masas para el ensayo de succión capilar  $Ra/c = 0.70$  Muestra N°1

Ra/c = 0.70							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
Área (m <sup>2</sup> )	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
Martes (15:30)	840.30	838.90	823.70	832.00	848.50	0	0.00
Martes (16:00)	851.60	851.90	832.60	841.80	860.70	1800	42.43
Martes (16:30)	854.80	855.60	835.60	844.60	864.70	3600	60.00
Martes (17:30)	861.00	862.40	840.50	849.20	870.60	7200	84.85
Martes (18:30)	864.90	866.70	844.10	852.50	874.70	10800	103.92
Martes (19:30)	868.80	870.80	847.30	855.50	878.40	14400	120.00
Martes (20:30)	873.20	875.10	850.70	858.70	882.90	18000	134.16
Martes (21:30)	877.50	879.40	854.20	862.30	887.30	21600	146.97
Miércoles (15:30)	895.50	898.20	871.90	875.90	901.00	86400	293.94
Jueves (15:30)	910.80	910.70	882.00	890.90	908.00	172800	415.69
Viernes (15:30)	912.50	912.10	882.60	891.70	908.70	259200	509.12

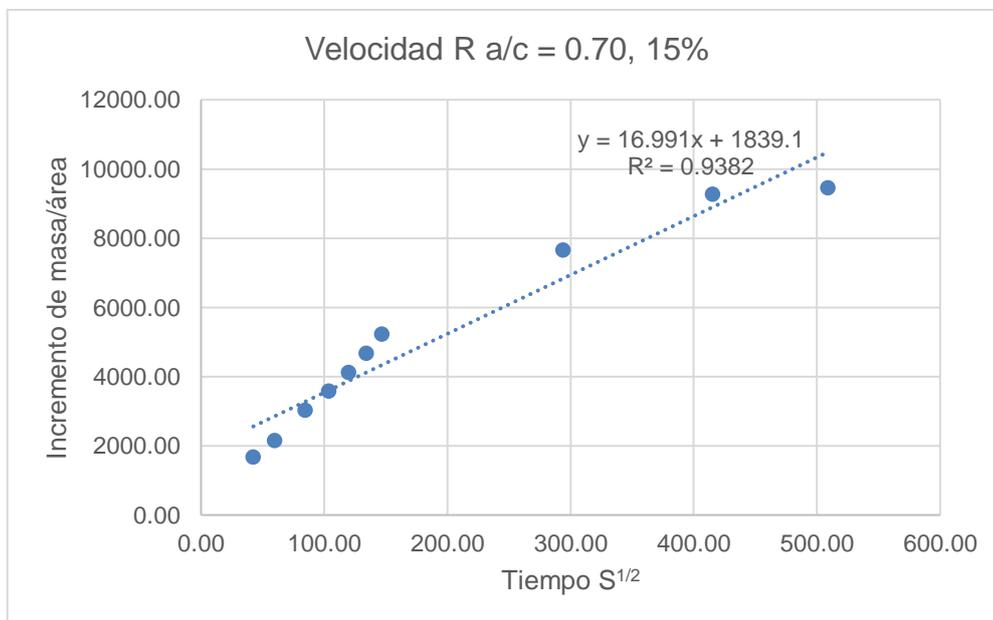
**Tabla N° 94:** Capacidad de succión capilar  $Ra/c = 0.70$  Muestra N°1

Ra/c = 0.70							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99		
Área (m <sup>2</sup> )	0.77	0.75	0.77	0.78	0.77		
Martes (15:30)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
Martes (16:00)	1461.18	1678.63	1168.20	1247.77	1634.03	1800	42.43
Martes (16:30)	1874.96	2156.39	1561.97	1604.28	2169.78	3600	60.00
Martes (17:30)	2676.67	3034.45	2205.13	2189.97	2960.01	7200	84.85
Martes (18:30)	3180.97	3589.69	2677.66	2610.14	3509.15	10800	103.92
Martes (19:30)	3685.27	4119.10	3097.69	2992.11	4004.72	14400	120.00
Martes (20:30)	4254.22	4674.34	3543.97	3399.55	4607.44	18000	134.16
Martes (21:30)	4810.24	5229.58	4003.37	3857.92	5196.76	21600	146.97
Miércoles (15:30)	7137.78	7657.14	6326.64	5589.52	7031.70	86400	293.94
Jueves (15:30)	9116.19	9271.20	7652.34	7499.38	7969.26	172800	415.69
Viernes (15:30)	9336.01	9451.98	7731.10	7601.24	8063.01	259200	509.12

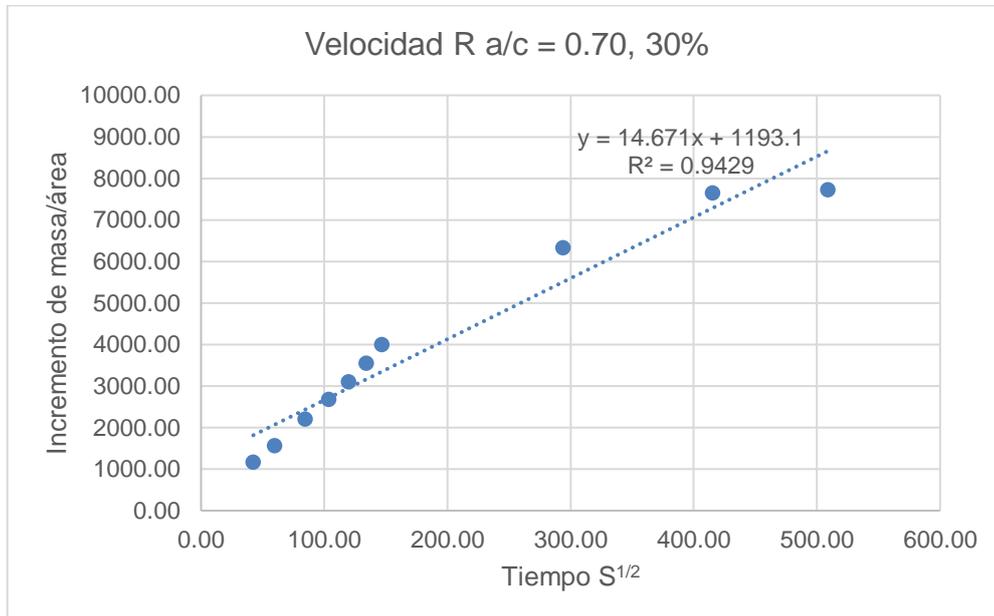
**Figura N° 45:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 0% de Agregado Reciclado Muestra N°1



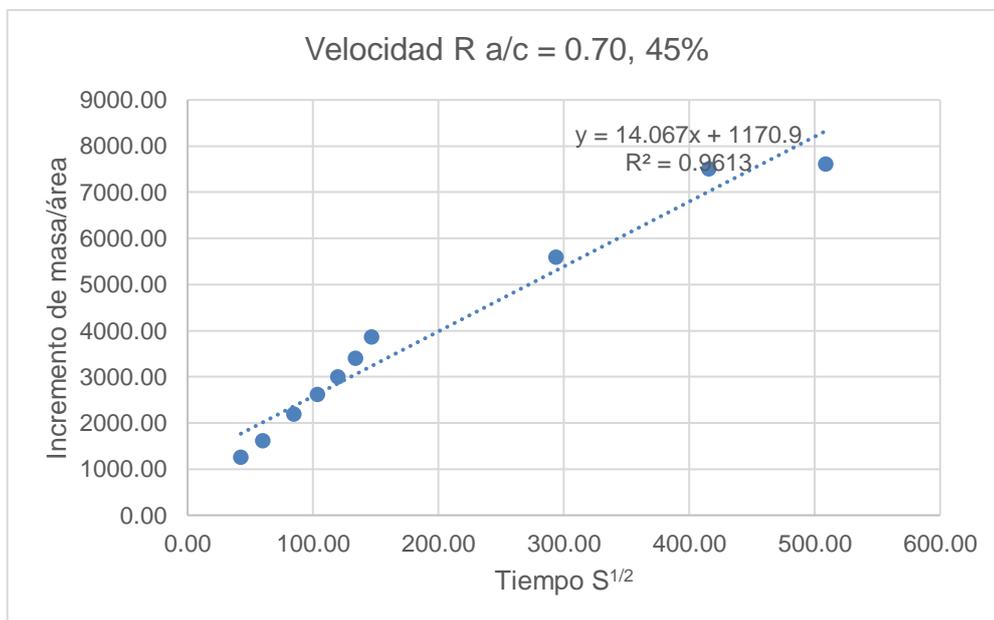
**Figura N° 46:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 15% de Agregado Reciclado Muestra N°1



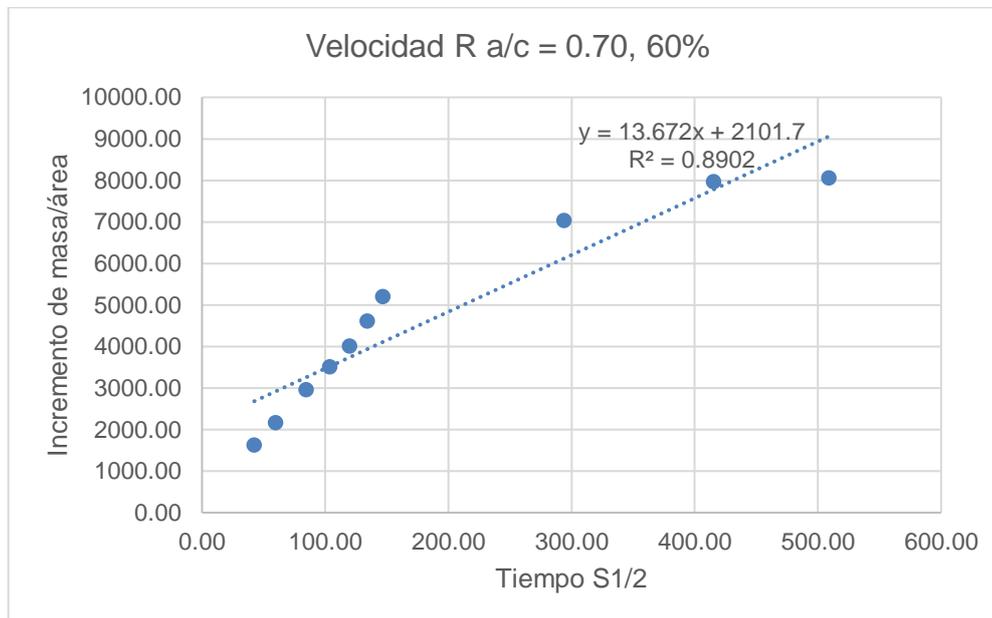
**Figura N° 47:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 30% de Agregado Reciclado Muestra N°1



**Figura N° 48:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 45% de Agregado Reciclado Muestra N°1



**Figura N° 49:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 60% de Agregado Reciclado Muestra N°1



**Tabla N° 95:** Velocidad de succión capilar Muestra N°1

Ra/c =	Velocidad ( $g/(m^2 \cdot s^{1/2})$ )		
	0.55	0.65	0.70
0%	16.256	17.159	17.386
15%	15.418	16.961	16.991
30%	14.067	14.228	14.671
45%	13.751	13.905	14.067
60%	13.328	13.591	13.672

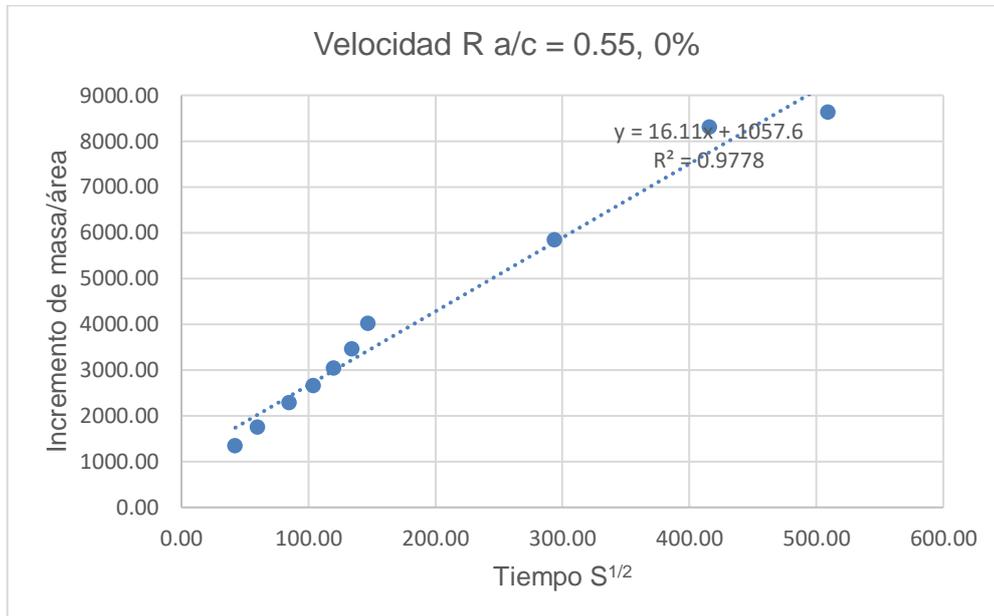
**Tabla N° 96:** Incremento de masas para el ensayo de succión capilar  $Ra/c = 0.55$  Muestra N°2

Ra/c = 0.55							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
Área (m <sup>2</sup> )	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
Martes (15:30)	820.40	762.50	793.10	848.50	790.50	0	0.00
Martes (16:00)	830.70	763.90	804.30	856.40	798.50	1800	42.43
Martes (16:30)	833.80	776.80	807.70	858.60	800.80	3600	60.00
Martes (17:30)	837.80	782.00	814.00	863.10	802.70	7200	84.85
Martes (18:30)	840.70	785.40	818.60	865.20	808.50	10800	103.92
Martes (19:30)	843.60	788.90	822.20	868.30	811.40	14400	120.00
Martes (20:30)	846.80	792.50	826.00	872.50	814.60	18000	134.16
Martes (21:30)	851.00	796.40	830.10	876.40	817.20	21600	146.97
Miércoles (15:30)	864.90	813.00	846.40	886.80	830.10	86400	293.94
Jueves (15:30)	883.70	823.40	854.30	901.40	842.80	172800	415.69
Viernes (15:30)	886.20	824.40	854.70	903.20	843.70	259200	509.12

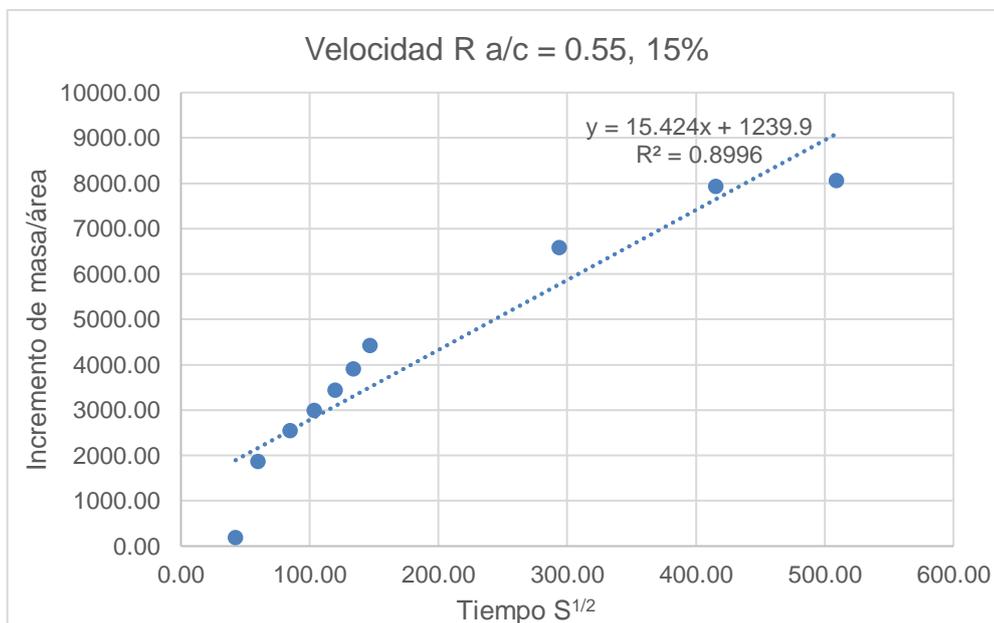
**Tabla N° 97:** Capacidad de succión capilar  $Ra/c = 0.55$  Muestra N°2

Ra/c = 0.55							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99		
Área (m <sup>2</sup> )	0.77	0.78	0.76	0.77	0.77		
Martes (15:30)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00
Martes (16:00)	1351.68	182.24	1459.40	1058.10	1071.50	1800	42.43
Martes (16:30)	1758.50	1861.46	1902.43	1352.76	1379.55	3600	60.00
Martes (17:30)	2283.43	2538.35	2723.35	1955.48	1634.03	7200	84.85
Martes (18:30)	2664.00	2980.94	3322.74	2236.75	2410.87	10800	103.92
Martes (19:30)	3044.57	3436.54	3791.84	2651.95	2799.29	14400	120.00
Martes (20:30)	3464.51	3905.16	4286.99	3214.49	3227.88	18000	134.16
Martes (21:30)	4015.68	4412.83	4821.24	3736.85	3576.12	21600	146.97
Miércoles (15:30)	5839.80	6573.69	6945.19	5129.79	5303.91	86400	293.94
Jueves (15:30)	8306.95	7927.47	7974.59	7085.27	7004.91	172800	415.69
Viernes (15:30)	8635.02	8057.65	8026.71	7326.36	7125.45	259200	509.12

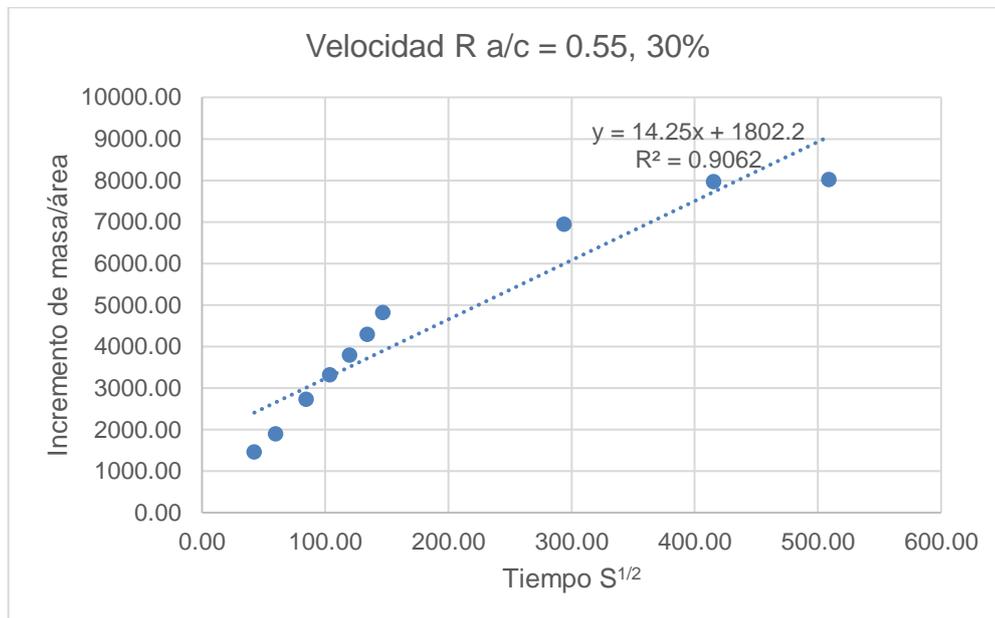
**Figura N° 50:** Velocidad succión capilar  $R_{a/c} = 0.55$ , 0% de Agregado Reciclado Muestra N°2



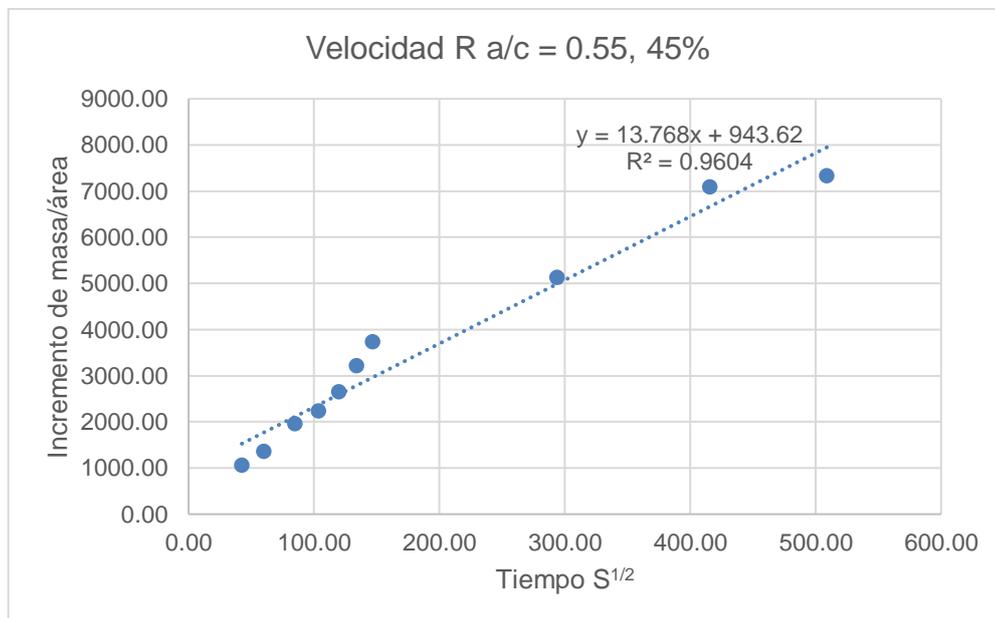
**Figura N° 51:** Velocidad succión capilar  $R_{a/c} = 0.55$ , 15% de Agregado Reciclado Muestra N°2



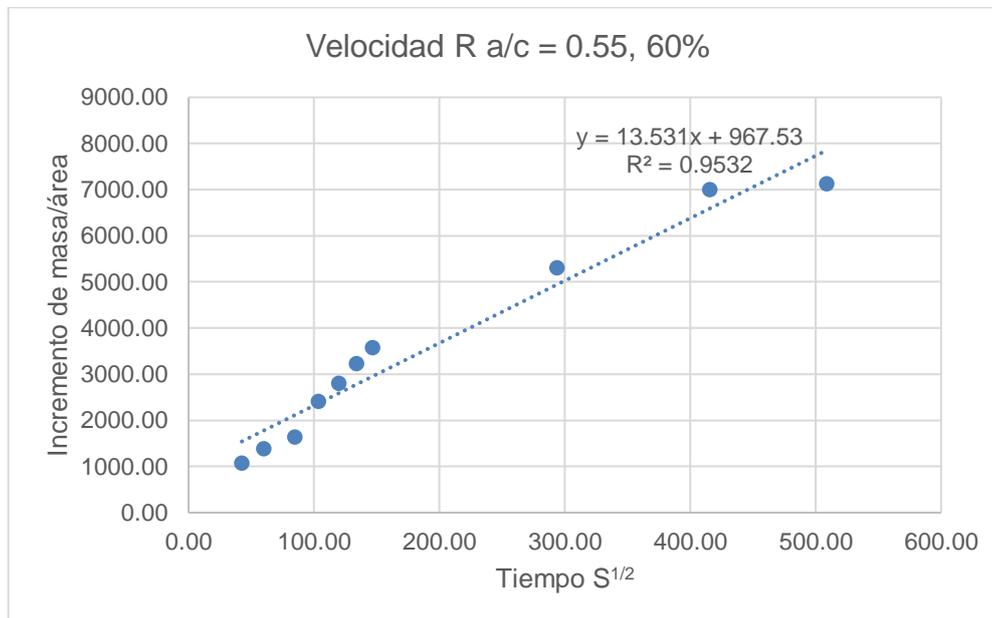
**Figura N° 52:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.55$ , 30% de Agregado Reciclado Muestra N°2



**Figura N° 53:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.55$ , 45% de Agregado Reciclado Muestra N°2



**Figura N° 54:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.55$ , 60% de Agregado Reciclado Muestra N°2



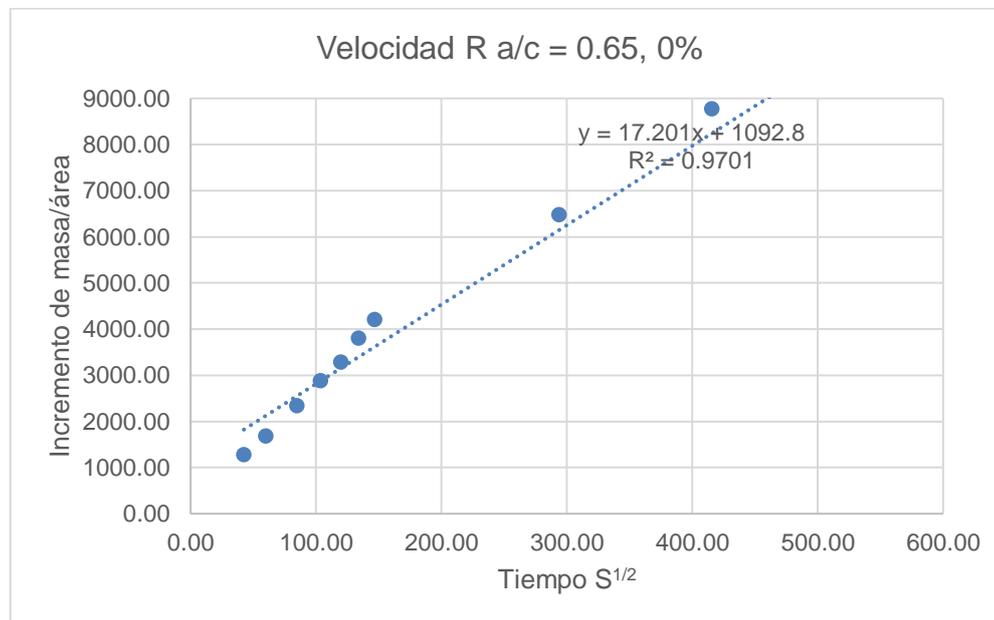
**Tabla N° 98:** Incremento de masas para el ensayo de succión capilar  $Ra/c = 0.65$  Muestra N°2

Ra/c = 0.65							S	$S^{1/2}$
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%			
Diámetro (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10			
Área (m <sup>2</sup> )	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			
Martes (15:30)	793.20	838.80	830.90	836.00	847.40	0	0.00	
Martes (16:00)	803.10	850.70	840.70	843.90	859.60	1800	42.43	
Martes (16:30)	806.30	854.70	843.50	847.50	863.70	3600	60.00	
Martes (17:30)	811.40	861.40	848.10	852.10	869.50	7200	84.85	
Martes (18:30)	815.60	865.60	851.50	855.50	873.60	10800	103.92	
Martes (19:30)	818.70	870.60	854.20	858.70	877.20	14400	120.00	
Martes (20:30)	822.70	874.20	857.60	862.80	881.80	18000	134.16	
Martes (21:30)	825.90	878.20	861.20	865.00	886.30	21600	146.97	
Miércoles (15:30)	843.50	897.10	874.80	880.70	899.90	86400	293.94	
Jueves (15:30)	861.30	909.60	890.90	890.20	907.00	172800	415.69	
Viernes (15:30)	863.40	911.00	891.60	891.50	907.10	259200	509.12	

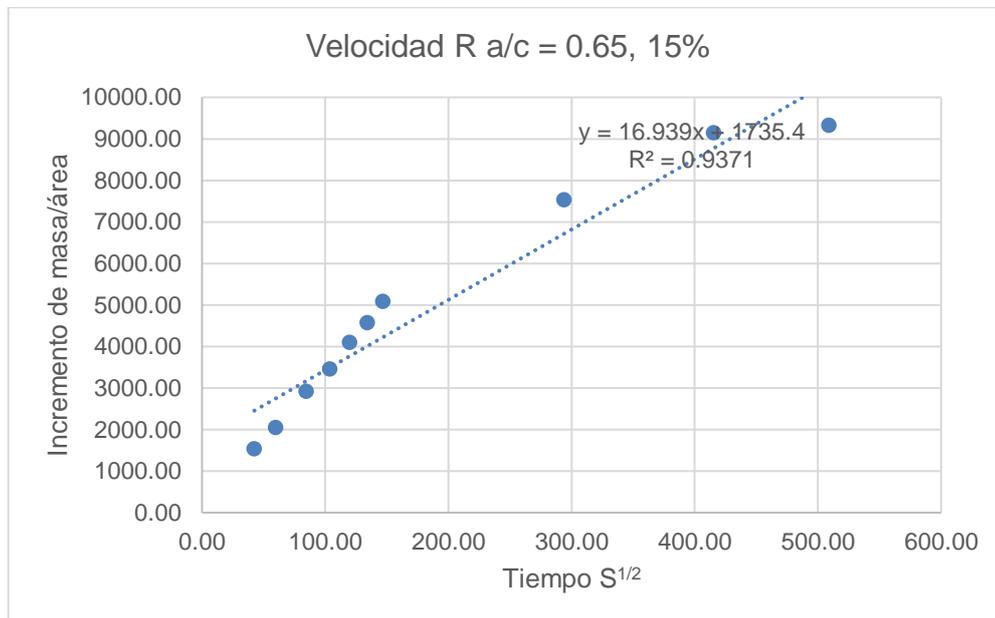
**Tabla N° 99:** Capacidad de succión capilar  $Ra/c = 0.65$  Muestra N°2

Ra/c = 0.65							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99		
Área (m <sup>2</sup> )	0.77	0.75	0.77	0.78	0.77		
Martes (15:30)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
Martes (16:00)	1275.77	1536.59	1247.77	1058.10	1634.03	1800	42.43
Martes (16:30)	1688.14	2053.09	1604.28	1540.28	2183.17	3600	60.00
Martes (17:30)	2345.36	2918.23	2189.97	2156.39	2960.01	7200	84.85
Martes (18:30)	2886.59	3460.56	2622.87	2611.77	3509.15	10800	103.92
Martes (19:30)	3286.08	4106.19	2966.65	3040.37	3991.33	14400	120.00
Martes (20:30)	3801.54	4571.04	3399.55	3589.51	4607.44	18000	134.16
Martes (21:30)	4213.91	5087.54	3857.92	3884.18	5210.15	21600	146.97
Miércoles (15:30)	6481.94	7528.01	5589.52	5986.99	7031.70	86400	293.94
Jueves (15:30)	8775.75	9142.08	7639.44	7259.39	7982.65	172800	415.69
Viernes (15:30)	9046.37	9322.85	7728.56	7433.51	7996.04	259200	509.12

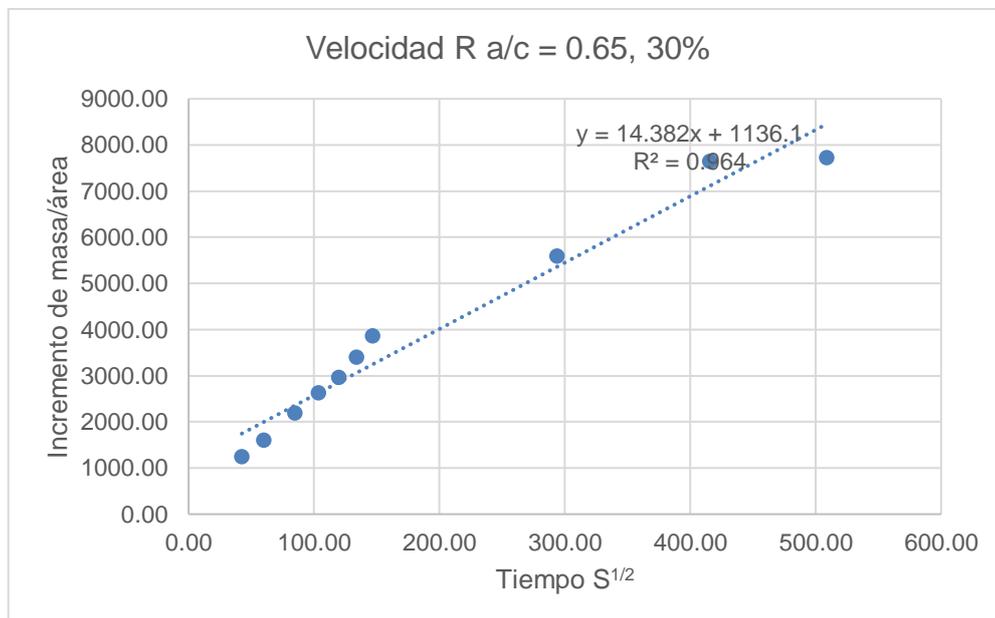
**Figura N° 55:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 0% de Agregado Reciclado Muestra N°2



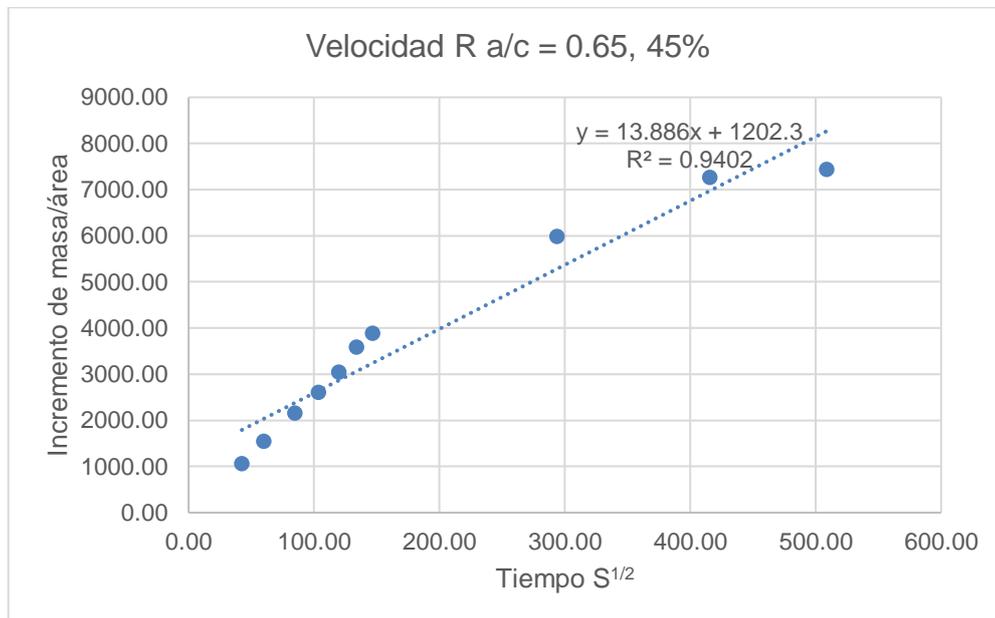
**Figura N° 56:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 15% de Agregado Reciclado Muestra N°2



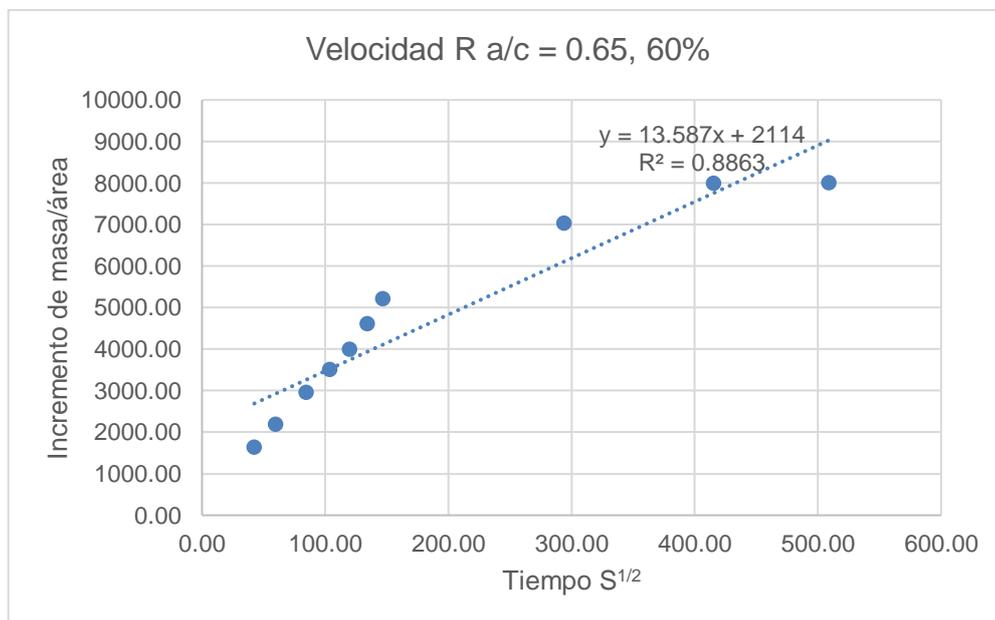
**Figura N° 57:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 30% de Agregado Reciclado Muestra N°2



**Figura N° 58:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 45% de Agregado Reciclado Muestra N°2



**Figura N° 59:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.65$ , 60% de Agregado Reciclado Muestra N°2



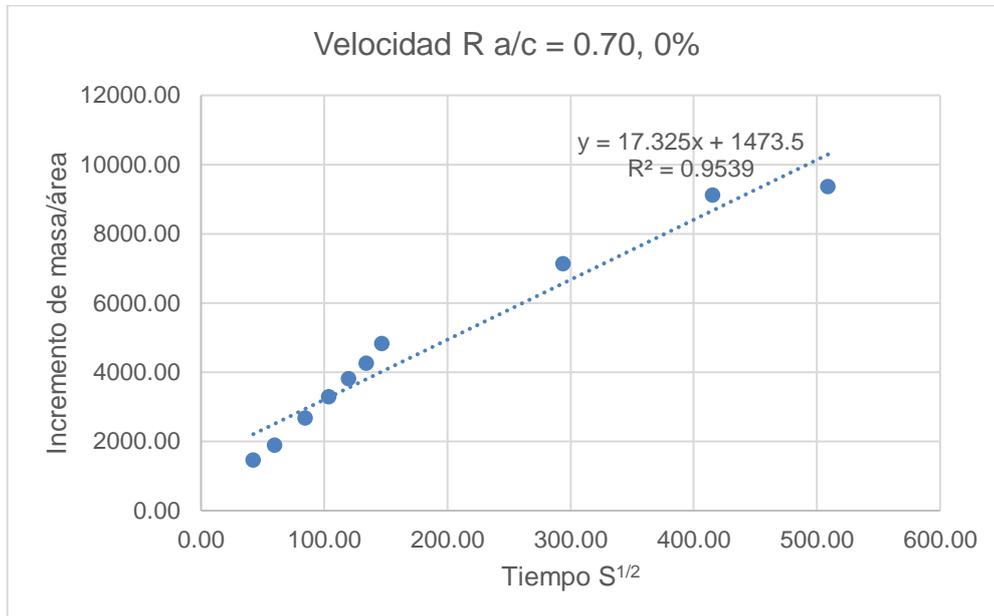
**Tabla N° 100:** Incremento de masas para el ensayo de succión capilar  $Ra/c = 0.70$  Muestra N°2

Ra/c = 0.70							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
Área (m <sup>2</sup> )	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
Martes (15:30)	839.20	805.60	828.60	831.10	830.60	0	0.00
Martes (16:00)	850.50	816.80	831.50	840.60	844.20	1800	42.43
Martes (16:30)	853.80	819.90	834.60	843.50	848.90	3600	60.00
Martes (17:30)	859.90	825.20	839.40	848.30	852.10	7200	84.85
Martes (18:30)	864.70	829.50	843.00	851.40	860.10	10800	103.92
Martes (19:30)	868.70	833.20	846.30	854.60	863.90	14400	120.00
Martes (20:30)	872.20	837.90	851.60	857.70	868.30	18000	134.16
Martes (21:30)	876.50	842.70	853.20	861.20	874.20	21600	146.97
Miércoles (15:30)	894.40	860.80	870.90	874.80	887.70	86400	293.94
Jueves (15:30)	909.70	874.00	880.90	889.70	892.30	172800	415.69
Viernes (15:30)	911.60	875.10	881.50	890.60	893.10	259200	509.12

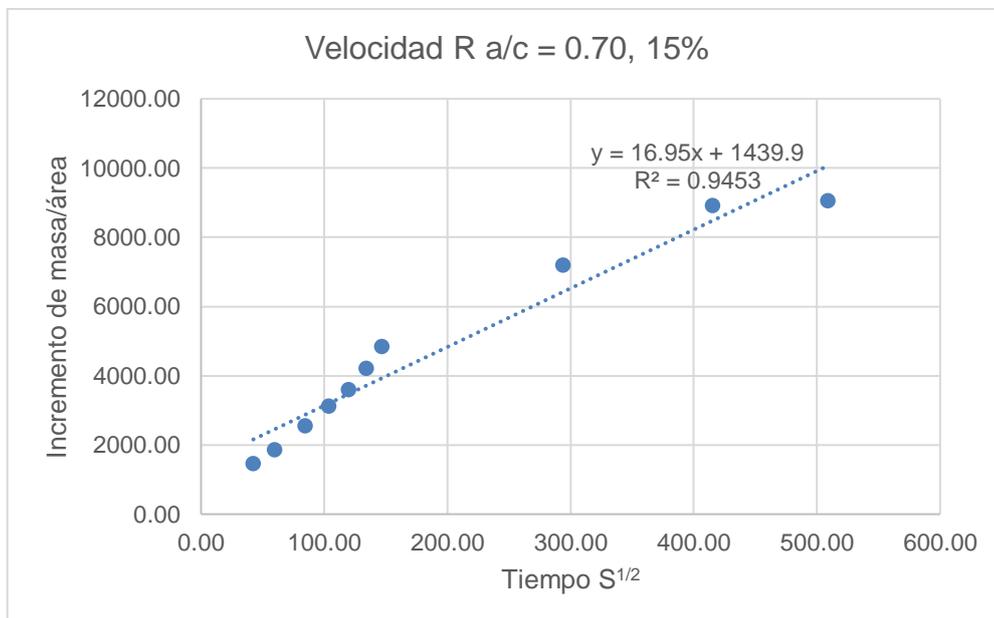
**Tabla N° 101:** Capacidad de succión capilar  $Ra/c = 0.70$  Muestra N°2

Ra/c = 0.70							
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%	S	S <sup>1/2</sup>
Diámetro (m)	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99		
Área (m <sup>2</sup> )	0.77	0.75	0.77	0.78	0.77		
Martes (15:30)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
Martes (16:00)	1461.18	1459.40	380.65	1209.58	1784.75	1800	42.43
Martes (16:30)	1887.89	1863.34	787.55	1578.82	2401.53	3600	60.00
Martes (17:30)	2676.67	2553.95	1417.59	2189.97	2821.47	7200	84.85
Martes (18:30)	3297.34	3114.26	1890.12	2584.68	3871.33	10800	103.92
Martes (19:30)	3814.57	3596.38	2323.27	2992.11	4370.00	14400	120.00
Martes (20:30)	4267.15	4208.81	3018.93	3386.82	4947.42	18000	134.16
Martes (21:30)	4823.17	4834.27	3228.95	3832.45	5721.69	21600	146.97
Miércoles (15:30)	7137.78	7192.76	5552.21	5564.06	7493.31	86400	293.94
Jueves (15:30)	9116.19	8912.77	6864.79	7461.18	8096.98	172800	415.69
Viernes (15:30)	9361.87	9056.11	6943.55	7575.78	8201.96	259200	509.12

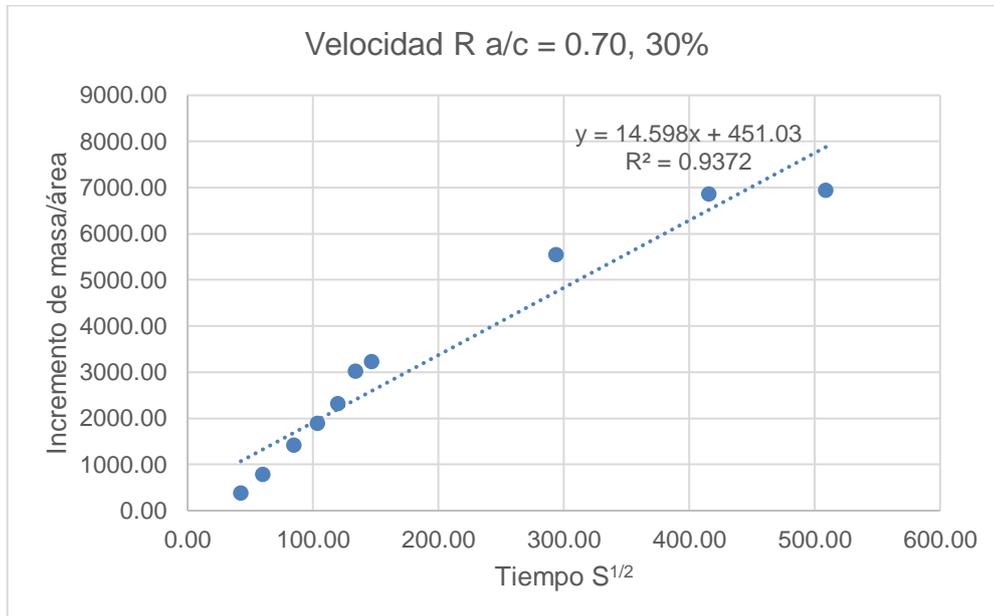
**Figura N° 60:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 0% de Agregado Reciclado Muestra N°2



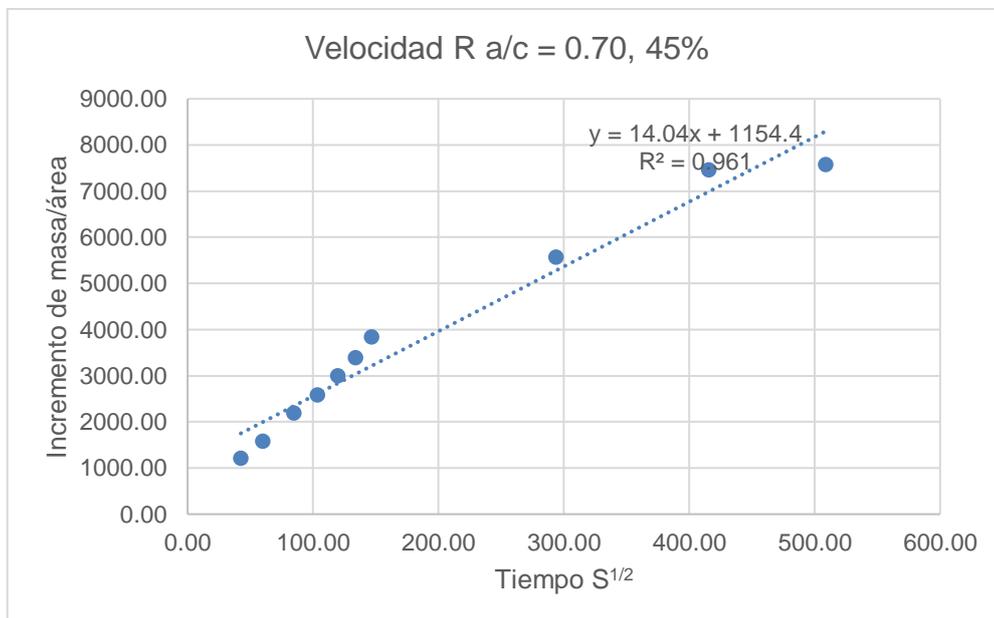
**Figura N° 61:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 15% de Agregado Reciclado Muestra N°2



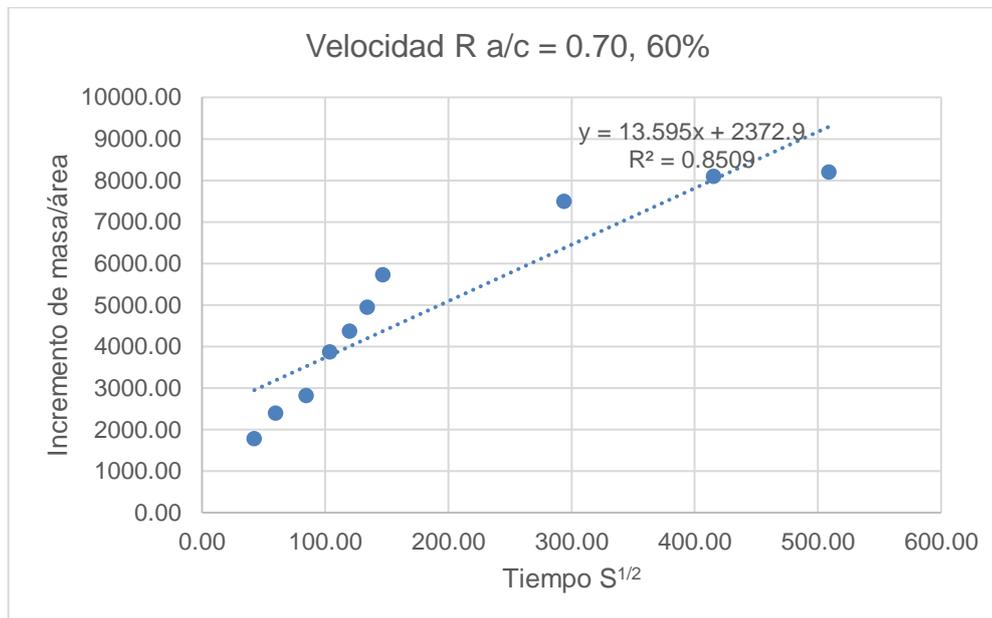
**Figura N° 62:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 30% de Agregado Reciclado Muestra N°2



**Figura N° 63:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 45% de Agregado Reciclado Muestra N°2



**Figura N° 64:** Velocidad succión capilar  $Ra/c = 0.70$ , 60% de Agregado Reciclado Muestra N°2



**Tabla N° 102:** Velocidad de succión capilar Muestra N°2

$Ra/c =$	Velocidad ( $g/(m^2 \cdot s^{1/2})$ )		
	0.55	0.65	0.70
0%	16.110	17.201	17.325
15%	15.424	16.939	16.950
30%	14.240	14.382	14.598
45%	13.768	13.886	14.040
60%	13.531	13.587	13.595

**Tabla N° 103:** Velocidad promedio de succión capilar

$Ra/c =$	Velocidad ( $g/(m^2 \cdot s^{1/2})$ )		
	0.55	0.65	0.70
0%	16.183	17.180	17.356
15%	15.421	16.950	16.971
30%	14.154	14.305	14.635
45%	13.760	13.896	14.054
60%	13.430	13.589	13.634

**Tabla N° 104:** Capacidad promedio de succión capilar

Capacidad (g/m <sup>2</sup> )					
Ra/c = 0.55					
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%
martes (16:00)	1312.31	169.22	1353.59	1058.10	1078.19
martes (16:30)	1679.76	1848.44	1753.36	1359.46	1386.25
martes (17:30)	2244.06	2525.34	2456.66	1948.78	1841.64
martes (18:30)	2664.00	2974.43	2966.44	2243.45	2410.87
martes (19:30)	3044.57	3423.52	3391.98	2645.26	2792.59
martes (20:30)	3457.95	3905.16	3843.27	3207.79	3227.88
martes (21:30)	3982.87	4399.81	4339.58	3750.24	3623.00
miércoles (15:30)	5787.30	6560.67	6267.35	5136.49	5310.61
jueves (15:30)	8306.95	7907.95	7736.98	7085.27	7011.61
viernes (15:30)	8635.02	8051.14	7813.97	7319.66	7125.45
Ra/c = 0.65					
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%
Martes (16:00)	1262.88	1478.45	1360.10	1064.80	1709.39
Martes (16:30)	1688.14	1938.67	1759.87	1520.19	2292.35
Martes (17:30)	2345.36	2768.67	2456.66	2129.60	2903.87
Martes (18:30)	2873.71	3280.89	2972.81	2598.38	3677.12
Martes (19:30)	3292.52	3857.80	3385.76	3013.58	4180.67
Martes (20:30)	3788.65	4389.92	3849.79	3569.42	4777.43
Martes (21:30)	4213.91	4967.42	4352.61	3870.78	5452.80
Miércoles (15:30)	6481.94	7360.39	6254.32	5973.59	7269.07
Jueves (15:30)	8775.75	9033.94	7807.01	7252.69	8033.25
Viernes (15:30)	9020.60	9182.96	7884.15	7420.12	8099.00
Ra/c = 0.70					
A.R.	0%	15%	30%	45%	60%
Martes (16:00)	1461.18	1569.02	774.42	1228.68	1709.39
Martes (16:30)	1881.43	2009.87	1174.76	1591.55	2285.66
Martes (17:30)	2676.67	2794.20	1811.36	2189.97	2890.74
Martes (18:30)	3239.16	3351.97	2283.89	2597.41	3690.24
Martes (19:30)	3749.92	3857.74	2710.48	2992.11	4187.36
Martes (20:30)	4260.69	4441.57	3281.45	3393.18	4777.43
Martes (21:30)	4816.71	5031.92	3616.16	3845.18	5459.22
Miércoles (15:30)	7137.78	7424.95	5939.43	5576.79	7262.50
Jueves (15:30)	9116.19	9091.99	7258.57	7480.28	8033.12
Viernes (15:30)	9348.94	9254.04	7337.32	7588.51	8132.49

**Tabla N° 105:** *Desviación estándar de la velocidad de succión capilar*

Ra/c =	Desviación estándar		
	0.55	0.65	0.70
0%	0.103	0.030	0.043
15%	0.004	0.016	0.029
30%	0.122	0.109	0.052
45%	0.012	0.013	0.019
60%	0.144	0.003	0.054

#### APÉNDICE N°4. Análisis de costos del concreto convencional

*Tabla N° 106: Costo Producción de Agregado Reciclado*

COSTO POR M3 DE AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
Transporte a Chancadora	Partida Eliminación de desmonte			0.00
Chancado de Agr. Reciclado	m <sup>3</sup>	1.000	10.00	10.00
Transporte a Obra (San Isidro)	m <sup>3</sup>	1.000	10.00	10.00
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>20.00</b>

*Tabla N° 107: Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 0% de AR*

R A/C = 0.55 - 0% AG. RECICLADO				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	1.198	35.00	41.93
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.000	20.00	0.00
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.522	25.00	13.05
Cemento Portland Tipo MS	bol	8.770	21.00	184.17
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/239.36</b>

*Tabla N° 108: Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 15% de AR*

R A/C = 0.55 - 15% AG. RECICLADO				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	1.019	35.00	35.67
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.153	20.00	3.06
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.511	25.00	12.78
Cemento Portland Tipo MS	bol	8.770	21.00	184.17
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/235.88</b>

*Tabla N° 109: Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 30% de AR*

R A/C = 0.55 - 30% AG. RECICLADO				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.839	35.00	29.37
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.306	20.00	6.12
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.512	25.00	12.80
Cemento Portland Tipo MS	bol	8.770	21.00	184.17
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	0.373	8.15	3.04
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/235.71</b>

**Tabla N° 110:** Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 45% de AR

<b>R A/C = 0.55 - 45% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.659	35.00	23.07
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.459	20.00	9.18
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.501	25.00	12.53
Cemento Portland Tipo MS	bol	8.770	21.00	184.17
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	0.745	8.15	6.07
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/235.22</b>

**Tabla N° 111:** Costo producción concreto R a/c = 0.55 con 60% de AR

<b>R A/C = 0.55 - 60% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.479	35.00	16.77
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.612	20.00	12.24
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.473	25.00	11.83
Cemento Portland Tipo MS	bol	8.770	21.00	184.17
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	1.278	8.15	10.42
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/235.63</b>

**Tabla N° 112:** Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 0% de AR

<b>R A/C = 0.65 - 0% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	1.198	35.00	41.93
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.000	20.00	0.00
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.575	25.00	14.38
Cemento Portland Tipo MS	bol	7.421	21.00	155.84
Agua	m <sup>3</sup>	0.210	1.00	0.21
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/212.36</b>

**Tabla N° 113:** Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 15% de AR

<b>R A/C = 0.65 - 15% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	1.019	35.00	35.65
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.153	20.00	3.06
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.564	25.00	14.10
Cemento Portland Tipo MS	bol	7.421	21.00	155.84
Agua	m <sup>3</sup>	0.210	1.00	0.21
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/208.86</b>

**Tabla N° 114:** Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 30% de AR

<b>R A/C = 0.65 - 30% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.839	35.00	29.36
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.306	20.00	6.12
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.567	25.00	14.18
Cemento Portland Tipo MS	bol	7.421	21.00	155.84
Agua	m <sup>3</sup>	0.210	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	0.315	8.15	2.57
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/208.28</b>

**Tabla N° 115:** Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 45% de AR

<b>R A/C = 0.65 - 45% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.659	35.00	23.07
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.459	20.00	9.18
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.556	25.00	13.90
Cemento Portland Tipo MS	bol	7.421	21.00	155.84
Agua	m <sup>3</sup>	0.210	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	0.631	8.15	5.14
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/207.34</b>

**Tabla N° 116:** Costo producción concreto R a/c = 0.65 con 60% de AR

<b>R A/C = 0.65 - 60% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.479	35.00	16.78
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.612	20.00	12.24
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.526	25.00	13.14
Cemento Portland Tipo MS	bol	7.421	21.00	155.84
Agua	m <sup>3</sup>	0.210	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	1.276	8.15	10.40
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/208.62</b>

**Tabla N° 117:** Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 0% de AR

<b>R A/C = 0.70 - 0% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	1.198	35.00	41.94
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.000	20.00	0.00
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.596	25.00	14.89
Cemento Portland Tipo MS	bol	6.891	21.00	144.71
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/201.76</b>

**Tabla N° 118:** Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 15% de AR

<b>R A/C = 0.70 - 15% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	1.019	35.00	35.65
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.153	20.00	3.06
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.585	25.00	14.62
Cemento Portland Tipo MS	bol	6.891	21.00	144.71
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/198.26</b>

**Tabla N° 119:** Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 30% de AR

<b>R A/C = 0.70 - 30% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.839	35.00	29.36
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.306	20.00	6.12
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.588	25.00	14.71
Cemento Portland Tipo MS	bol	6.891	21.00	144.71
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	0.029	8.15	0.24
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/195.36</b>

**Tabla N° 120:** Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 45% de AR

<b>R A/C = 0.70 - 45% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.659	35.00	23.07
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.459	20.00	9.18
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.577	25.00	14.43
Cemento Portland Tipo MS	bol	6.891	21.00	144.71
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	0.586	8.15	4.78
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/196.38</b>

**Tabla N° 121:** Costo producción concreto R a/c = 0.70 con 60% de AR

<b>R A/C = 0.70 - 60% AG. RECICLADO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
Agregado Grueso	m <sup>3</sup>	0.479	35.00	16.78
Agregado Reciclado	m <sup>3</sup>	0.612	20.00	12.24
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	0.546	25.00	13.66
Cemento Portland Tipo MS	bol	6.891	21.00	144.71
Agua	m <sup>3</sup>	0.211	1.00	0.21
Aditivo Plastificante	lt	1.275	8.15	10.39
<b>Costo unitario por m<sup>3</sup></b>				<b>S/198.00</b>

## APÉNDICE N°5. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto

### HIPÓTESIS

#### Hipótesis alterna

$H_1$ : A medida que se incrementa la cantidad de agregado de concreto reciclado, las propiedades mecánicas como el asentamiento, peso unitario, resistencia a compresión y succión capilar del concreto varían.

#### Hipótesis nula

$H_0$ : La cantidad de agregado de concreto reciclado no influye en las propiedades mecánicas del concreto.

### APÉNDICE N°5.1. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto en estado fresco

#### APÉNDICE N°5.1.1 Procesamiento estadístico de ensayo de peso unitario

##### 1. Datos Previos.

###### 1.1. Grados de libertad

- Grados de libertad de la variable cantidad de agregado reciclado (A)  
 $G.L. = a - 1$   
 $G.L. = 5 - 1$   
 $G.L. = 4$
- Grados de libertad de la variable relaciones agua/cemento (B):  
 $G.L. = b - 1$   
 $G.L. = 3 - 1$   
 $G.L. = 2$
- Grados de libertad de las variables (A) x (B)  
 $G.L. = (a - 1) \times (b - 1)$   
 $G.L. = (5 - 1) \times (3 - 1)$   
 $G.L. = 8$
- Grados de libertad del error.  
 $G.L. = (a \times b) \times (r - 1)$   
 $G.L. = (5 \times 3) \times (3 - 1)$   
 $G.L. = 30$

###### 1.2. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

### 1.3. Criterio de rechazo

- a. **Criterio de Normalidad:** Debido a que evaluamos menos de 30 datos, se utilizará la prueba de Shapiro Wilk.

**Tabla N° 122:** Prueba de Normalidad del Peso Unitario

Pruebas de normalidad							
R a/c	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
PU	0.55	,160	5	,200*	,976	5	,911
	0.65	,158	5	,200*	,980	5	,932
	0.70	,177	5	,200*	,974	5	,899

Según la **Tabla N° 122** todos los resultados obtenidos de la peso unitario presentan una distribución normal ya que, tienen un P-valor (Sig.) mayor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador.

- b. **Criterio de Homocedasticidad**

**Tabla N° 123:** Prueba de Homogeneidad de varianzas del Peso Unitario

Prueba de homogeneidad de varianzas			
PU			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
3,419	4	10	,052

Según la **Tabla N° 123** todos los resultados obtenidos del peso unitario en el concreto fresco presentan una distribución normal ya que, tienen un P-valor (Sig.) mayor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador.

- c. **Regresión**

Para evaluar si es aceptada o no la ecuación que describe la regresión, se evalúa el P-valor (Sig.) resultante de la regresión y se compara con la significancia (0.05). Se acepta la ecuación de regresión si el P-valor es menor que la significancia (0.05).

1)  $R_{a/c} = 0.55$ :

**Tabla N° 124:** Estadísticas de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.55$

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.994446605
Coefficiente de determinación $R^2$	0.988924051
$R^2$ ajustado	0.985232068
Error típico	4.830458915
Observaciones	5

**Tabla N° 125:** Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.55$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	6250	6250	267.857143	0.00049637
Residuos	3	70	23.33333333		
Total	4	6320			

**Tabla N° 126:** Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.55$

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	2404	3.741657387	642.4960256	8.3149E-09	2392.09238	2415.907624	2392.09238	2415.907624
Variable X 1	-166.6666667	10.18350154	-16.36634177	0.00049637	-199.075114	-134.2582198	-199.075114	-134.2582198

2)  $R_{a/c} = 0.65$ :

**Tabla N° 127:** Estadísticas de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.65$

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.996316746
Coefficiente de determinación $R^2$	0.992647059
$R^2$ ajustado	0.990196078
Error típico	7.071067812
Observaciones	5

**Tabla N° 128:** Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.65$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	20250	20250	405	0.00026819
Residuos	3	150	50		
Total	4	20400			

**Tabla N° 129:** Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.65$

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	2490	5.477225575	454.6097227	2.3472E-08	2472.56902	2507.430976	2472.56902	2507.430976
Variable X 1	-300	14.90711985	-20.1246118	0.00026819	-347.441108	-252.5588915	-347.441108	-252.5588915

3)  $R_{a/c} = 0.70$ :

**Tabla N° 130:** Estadísticas de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.70$

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.993399268
Coefficiente de determinación $R^2$	0.986842105
$R^2$ ajustado	0.98245614
Error típico	9.486832981
Observaciones	5

**Tabla N° 131:** Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.70$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	20250	20250	225	0.00064312
Residuos	3	270	90		
Total	4	20520			

**Tabla N° 132:** Análisis de la varianza de Regresión del Peso Unitario  $R_{a/c} = 0.70$

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	2504	7.348469228	340.7512398	5.5737E-08	2480.61389	2527.386109	2480.61389	2527.386109
Variable X 1	-300	20	-15	0.00064312	-363.648926	-236.3510739	-363.648926	-236.3510739

Los valores críticos de todas las relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) cumplen con el criterio de que el P-valor es menor a 0.05%, lo que significa que los resultados se comportan linealmente. Esto se puede verificar en la **Tabla N° 125**, **Tabla N° 128** y **Tabla N° 131** en el valor crítico de F.

Por lo tanto las ecuaciones de regresión son aceptadas, siendo:

- **Ra/c = 0.55:** Se acepta la ecuación  $y = -166.67x + 2404$  y se concluye que el 98.89% de la variación del agregado reciclado está explicado por el peso unitario.
- **Ra/c = 0.65:** Se acepta la ecuación  $y = -300x + 2490$  y se concluye que el 99.26% de la variación del agregado reciclado está explicado por el peso unitario.
- **Ra/c = 0.70:** Se acepta la ecuación  $y = -300x + 2504$  y se concluye que el 98.68% de la variación del agregado reciclado está explicado por el peso unitario.

## 2. Ensayo de Peso Unitario

**Tabla N° 133:** Parámetro de Peso Unitario

	% A.R.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio (kgf/m <sup>3</sup> )
Ra/c = 0.55	0%	2403	2399	2384	2400
	15%	2384	2383	2378	2380
	30%	2357	2351	2362	2360
	45%	2339	2344	2321	2330
	60%	2289	2308	2300	2300
Ra/c = 0.65	0%	2490	2491	2496	2490
	15%	2439	2446	2452	2450
	30%	2394	2398	2381	2390
	45%	2350	2365	2358	2360
	60%	2308	2317	2316	2310
Ra/c = 0.70	0%	2508	2510	2519	2510
	15%	2460	2442	2465	2460
	30%	2397	2399	2402	2400
	45%	2360	2364	2377	2370
	60%	2340	2334	2323	2330

## 3. Estadísticos descriptivos

**Tabla N° 134:** Estadísticos descriptivos de Peso Unitario

	R a/c = 0.55	R a/c = 0.65	R a/c = 0.70
Media	2354	2400	2414
Varianza	1580	5100	5130
Desviación estándar	39.749	71.41	71.624
Mínimo	2300	2310	2330
Máximo	2400	2490	2510

#### 4. Análisis de Varianza y F de Fisher

**Tabla N° 135:** Contrastación de hipótesis parámetro de peso unitario

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F ( Exp. )	F Teórico
Cantidad de agregado de concreto reciclado	4	129021.02	32255.26	519.69	2.69
Relaciones agua/cemento	2	29657.91	14828.96	238.92	3.32
Interacción	8	9916.98	1239.62	19.97	2.27
Error	30	1862.00	62.07	-	-
Total	44	170457.91	-	-	-

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_0 > F_{0.05,4,30} = 2.69$ ,  $F_0 > F_{0.05,2,30} = 3.32$ ,  $F_0 > F_{0.05,8,30} = 2.27$ .

De acuerdo a la **Tabla N° 135**, los F experimentales determinados con los resultados del peso unitario son mayores que los F teóricos, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador.

## APÉNDICE N°5.1. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto en estado endurecido

### APÉNDICE N°5.1.1. Procesamiento estadístico del ensayo de resistencia a compresión

#### 1. Datos Previos.

##### 1.1. Grados de libertad

- Grados de libertad de la variable cantidad de agregado reciclado (A)

$$G.L. = a - 1$$

$$G.L. = 5 - 1$$

$$G.L. = 4$$

- Grados de libertad de la variable relaciones agua/cemento (B):

$$G.L. = b - 1$$

$$G.L. = 3 - 1$$

$$G.L. = 2$$

- Grados de libertad de las variables (A) x (B)

$$G.L. = (a - 1) \times (b - 1)$$

$$G.L. = (5 - 1) \times (3 - 1)$$

$$G.L. = 8$$

- Grados de libertad del error.

$$G.L. = (a \times b) \times (r - 1)$$

$$G.L. = (5 \times 3) \times (6 - 1)$$

$$G.L. = 125$$

##### 1.2. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

##### 1.3. Criterio de rechazo

- Criterio de Normalidad:** Debido a que evaluamos menos de 30 datos, se utilizará la prueba de Shapiro Wilk.

**Tabla N° 136:** Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión a 3 días

Pruebas de normalidad							
Relación	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Compresión3	0.55	,205	5	,200*	,929	5	,586
	0.65	,313	5	,123	,867	5	,253
	0.70	,212	5	,200*	,893	5	,372

**Tabla N° 137: Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión a 7 días**

Pruebas de normalidad							
Relación	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Compresión3	0.55	,259	5	,200*	,928	5	,582
	0.65	,337	5	,065	,808	5	,093
	0.70	,266	5	,200*	,894	5	,378

**Tabla N° 138: Prueba de Normalidad de la Resistencia a Compresión a 28 días**

Pruebas de normalidad							
Relación	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Compresión3	0.55	,262	5	,200*	,945	5	,702
	0.65	,247	5	,123	,863	5	,240
	0.70	,183	5	,200*	,942	5	,684

Según la **Tabla N° 136**, **Tabla N° 137** y **Tabla N° 138**, todos los resultados obtenidos de la resistencia a compresión a 3 días, 7 días y 28 días presentan una distribución normal ya que, tienen un P-valor (Sig.) mayor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador.

#### b. Criterio de Homocedasticidad

**Tabla N° 139: Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Resistencia a Compresión a 3 días**

Prueba de homogeneidad de varianzas			
PU			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0,168	4	10	,950

**Tabla N° 140: Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Resistencia a Compresión a 7 días**

Prueba de homogeneidad de varianzas			
PU			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0,063	4	10	,991

**Tabla N° 141:** Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Resistencia a Compresión a 28 días

Prueba de homogeneidad de varianzas			
PU			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0,074	4	10	,988

Según la **Tabla N° 139**, **Tabla N° 140** y **Tabla N° 141**, todos los resultados obtenidos de la resistencia a compresión a 3 días, 7 días y 28 días en el concreto endurecido presentan una distribución normal ya que, tienen un P-valor (Sig.) mayor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador.

### c. Regresión

Para evaluar si es aceptada o no la ecuación que describe la regresión, se evalúa el P-valor (Sig.) resultante de la regresión y se compara con la significancia (0.05). Se acepta la ecuación de regresión si el P-valor es menor que la significancia (0.05).

#### 1) $R a/c = 0.55$ :

**Tabla N° 142:** Estadísticas de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.55$

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.927649814
Coefficiente de determinación $R^2$	0.860534178
$R^2$ ajustado	0.81404557
Error típico	4.737830375
Observaciones	5

**Tabla N° 143:** Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.55$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	415.50916	415.50916	18.51064647	0.023105914
Residuos	3	67.34111	22.44703667		
Total	4	482.85027			

**Tabla N° 144:** Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.55$

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	299.1626667	3.669907628	81.51776474	4.06892E-06	287.4833827	310.8419506	287.4833827	310.8419506
Variable X 1	-42.97333333	9.988223436	-4.302400082	0.023105914	-74.7603181	-11.18634856	-74.7603181	-11.18634856

2)  $R a/c = 0.65$ :

**Tabla N° 145:** Estadísticas de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.65$

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.962637301
Coeficiente de determinación $R^2$	0.926670574
$R^2$ ajustado	0.902227431
Error típico	4.164865522
Observaciones	5

**Tabla N° 146:** Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.65$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	657.6128711	657.6128711	37.91127046	0.008620693
Residuos	3	52.03831444	17.34610481		
Total	4	709.6511856			

**Tabla N° 147:** Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.65$

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	239.3266667	3.226090961	74.18472373	5.39813E-06	229.0598054	249.5935279	229.0598054	249.5935279
Variable X 1	-54.06222222	8.780307465	-6.157212881	0.008620693	-82.00507927	-26.11936517	-82.00507927	-26.11936517

3)  $R a/c = 0.70$ :

**Tabla N° 148:** Estadísticas de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.70$

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.989816639
Coeficiente de determinación $R^2$	0.979736978
$R^2$ ajustado	0.972982638
Error típico	1.659567936
Observaciones	5

**Tabla N° 149:** Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.70$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	399.4998436	399.4998436	145.0529424	0.001231703
Residuos	3	8.2624972	2.754165733		
Total	4	407.7623408			

**Tabla N° 150:** Análisis de la varianza de Regresión de la Resistencia a Compresión a 28 días  $Ra/c = 0.70$

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	203.3964	1.285495795	158.2240881	5.56661E-07	199.3053787	207.487421	199.305379	207.4874213
Variable X 1	-42.13733333	3.498676406	-12.04379269	0.001231703	-53.27168313	-31.0029835	-53.2716831	-31.00298353

Los valores críticos de todas las relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) cumplen con el criterio de que el P-valor es menor a 0.05%, lo que significa que los resultados se comportan linealmente. Esto se puede verificar en la **Tabla N° 143, Tabla N° 146 y Tabla N° 149** en el valor crítico de F.

Por lo tanto las ecuaciones de regresión son aceptadas, siendo:

- **$Ra/c = 0.55$ :** Se acepta la ecuación  $y = -42.97x + 299.16$  y se concluye que el 80.22% de la variación del agregado reciclado está explicado por la resistencia a compresión.
- **$Ra/c = 0.65$ :** Se acepta la ecuación  $y = -54.06x + 239.33$  y se concluye que el 89.06% de la variación del agregado reciclado está explicado por la resistencia a compresión.
- **$Ra/c = 0.70$ :** Se acepta la ecuación  $y = -42.14x + 203.40$  y se concluye que el 97.97% de la variación del agregado reciclado está explicado la resistencia a compresión.

## 2. Ensayo de Resistencia a Compresión

### 2.1. Ensayo de compresión a 3 días

**Tabla N° 151:** Parámetro de ensayo de compresión a 3 días

	% A.R.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )
Ra/c = 0.55	0%	168.87	173.20	151.04	161.24	149.36	168.15	161.98
	15%	171.69	153.76	156.69	144.46	142.37	157.70	154.45
	30%	155.26	140.89	135.20	141.48	148.35	142.51	143.95
	45%	151.05	135.79	165.55	146.49	152.33	152.78	150.67
	60%	147.76	132.24	149.23	140.92	143.46	155.12	144.79
Ra/c = 0.65	0%	146.19	126.43	148.84	140.91	133.92	153.14	141.57
	15%	106.85	99.46	114.60	105.11	103.78	111.71	106.92
	30%	104.30	120.65	112.01	116.07	115.25	106.59	112.48
	45%	117.05	110.77	101.60	121.81	122.73	103.78	112.96
	60%	144.75	125.85	114.81	121.55	140.17	152.11	133.21
Ra/c = 0.70	0%	107.80	108.45	102.82	107.79	104.95	105.66	106.25
	15%	101.15	95.60	96.60	98.14	97.40	105.57	99.08
	30%	81.35	89.94	87.22	91.59	88.43	88.06	87.77
	45%	93.24	83.99	80.16	103.53	101.62	81.42	90.66
	60%	96.02	109.28	117.15	98.35	106.83	103.50	105.19

### 2.2. Ensayo de compresión a 7 días

**Tabla N° 152:** Parámetro de ensayo de compresión a 7 días

	% A.R.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )
Ra/c = 0.55	0%	231.50	232.78	185.98	189.78	210.38	220.47	211.82
	15%	200.70	188.22	214.41	202.21	218.20	192.31	202.68
	30%	208.74	205.41	206.77	186.92	178.59	195.52	196.99
	45%	211.85	199.02	213.65	193.63	199.35	194.57	202.01
	60%	218.68	214.03	217.91	217.61	209.65	215.50	215.56
Ra/c = 0.65	0%	160.03	196.90	169.67	189.10	171.33	186.44	178.91
	15%	168.70	165.37	185.06	145.88	144.55	174.58	164.02
	30%	169.21	157.06	180.14	154.61	160.87	175.03	166.15
	45%	152.38	173.05	150.90	161.44	160.50	165.34	160.60
	60%	164.18	173.97	173.75	163.78	162.40	148.09	164.36
Ra/c = 0.70	0%	141.70	149.03	134.35	148.25	160.57	115.87	141.63
	15%	124.43	125.30	148.40	114.89	136.49	147.54	132.84
	30%	110.63	123.11	126.26	107.21	106.85	127.05	116.85
	45%	115.96	103.64	102.53	118.64	115.34	128.72	114.14
	60%	120.95	149.57	138.44	136.96	121.72	133.14	133.46

### 2.3. Ensayo de compresión a 28 días

**Tabla N° 153:** Parámetro de ensayo de compresión a 28 días

	% A.R.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )
Ra/c = 0.55	0%	306.50	300.79	286.64	316.38	305.23	289.93	300.91
	15%	298.33	282.10	274.96	292.78	296.59	289.30	289.01
	30%	254.62	283.59	297.67	311.17	280.91	283.30	285.21
	45%	289.90	272.31	292.37	279.41	308.19	274.24	286.07
	60%	268.46	266.47	275.07	284.77	261.18	264.96	270.15
Ra/c = 0.65	0%	251.95	252.94	228.44	233.98	233.27	224.54	237.52
	15%	238.53	240.48	252.08	242.20	213.41	215.14	233.64
	30%	247.63	233.84	205.58	239.53	218.98	209.57	225.86
	45%	214.95	204.32	213.32	207.96	191.73	224.50	209.46
	60%	218.59	206.38	203.37	206.18	199.62	220.23	209.06
Ra/c = 0.70	0%	187.79	173.64	211.47	182.86	212.20	208.09	196.01
	15%	204.62	211.15	178.22	204.98	177.66	168.58	190.87
	30%	194.71	191.06	195.78	218.49	179.25	210.04	198.22
	45%	184.70	175.22	182.72	173.11	171.92	178.30	177.66
	60%	197.51	183.12	170.32	196.32	176.21	179.29	183.80

### 3. Estadísticos Descriptivos

		Media	Varianza	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
3 días	R a/c = 0.55	151.17	55.17	7.43	143.95	161.98
	R a/c = 0.65	121.43	226.69	15.06	106.92	141.57
	R a/c = 0.70	97.79	69.81	8.35	87.77	106.25
7 días	R a/c = 0.55	205.81	58.30	7.64	196.99	215.56
	R a/c = 0.65	166.81	49.80	7.06	160.60	178.91
	R a/c = 0.70	127.78	138.80	11.78	114.14	141.63
28 días	R a/c = 0.55	286.27	120.71	10.99	270.15	300.91
	R a/c = 0.65	223.11	177.45	13.32	209.06	237.52
	R a/c = 0.70	189.31	73.20	8.56	177.66	198.22

#### 4. Análisis de Varianza y F de Fisher.

**Tabla N° 154:** Contrastación de hipótesis parámetro de resistencia a compresión de 3 días

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F ( Exp. )	F Teórico
Cantidad de agregado de concreto reciclado	4	5522.25	1380.56	19.31	2.37
Relaciones agua/cemento	2	42923.62	21461.81	300.16	3.00
Interacción	8	2918.27	364.78	5.10	1.94
Error	125	5362.52	71.50		
Total	139	56726.66			

**Tabla N° 155:** Contrastación de hipótesis parámetro de resistencia a compresión de 7 días

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F ( Exp. )	F Teórico
Cantidad de agregado de concreto reciclado	4	4332.20	1083.05	7.28	2.37
Relaciones agua/cemento	2	91322.41	45661.21	307.08	3.00
Interacción	8	1593.47	199.18	1.34	1.94
Error	125	11152.25	148.70		
Total	139	108400.33			

**Tabla N° 156:** Contrastación de hipótesis parámetro de resistencia a compresión de 28 días

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F ( Exp. )	F Teórico
Cantidad de agregado de concreto reciclado	4	7066.82	1766.70	10.04	2.37
Relaciones agua/cemento	2	145329.37	72664.68	412.77	3.00
Interacción	8	1845.07	230.63	1.31	1.94
Error	125	13203.00	176.04		
Total	139	167444.25			

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_0 > F_{0.05,4,125} = 2.37$ ,  $F_0 > F_{0.05,2,125} = 3.00$ ,  $F_0 > F_{0.05,8,125} = 1.94$

De acuerdo a la **Tabla N° 154**, **Tabla N° 155** y **Tabla N° 156**, los F experimentales determinados con los resultados de la resistencia a compresión son mayores que los F teóricos, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador para los factores A y B, sin embargo no se acepta la interacción de ambos factores.

## APÉNDICE N°5.1.2. Procesamiento estadístico del ensayo de succión capilar

### 1. Datos Previos.

#### 1.1. Grados de libertad

- Grados de libertad de la variable cantidad de agregado reciclado (A)
  - G.L. =  $a - 1$
  - G.L. =  $5 - 1$
  - G.L. = 4
- Grados de libertad de la variable relaciones agua/cemento (B):
  - G.L. =  $b - 1$
  - G.L. =  $3 - 1$
  - G.L. = 2
- Grados de libertad de las variables (A) x (B)
  - G.L. =  $(a - 1) \times (b - 1)$
  - G.L. =  $(5 - 1) \times (3 - 1)$
  - G.L. = 8
- Grados de libertad del error.
  - G.L. =  $(a \times b) \times (r - 1)$
  - G.L. =  $(5 \times 3) \times (2 - 1)$
  - G.L. = 15

#### 1.2. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ).

#### 1.3. Criterio de rechazo

- a. **Criterio de Normalidad:** Debido a que evaluamos menos de 30 datos, se utilizará la prueba de Shapiro Wilk.

**Tabla N° 157: Prueba de Normalidad de la Succión Capilar**

Pruebas de normalidad							
	R a/c	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
PU	0.55	,245	5	,200*	,913	5	,483
	0.65	,293	5	,185	,811	5	,100
	0.70	,257	5	,200*	,857	5	,217

Según la **Tabla N° 159** todos los resultados obtenidos de la succión capilar presentan una distribución normal ya que, tienen un P-valor (Sig.) mayor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador.

**b. Criterio de Homocedasticidad**

**Tabla N° 158:** Prueba de Homogeneidad de varianzas de la Succión Capilar

Prueba de homogeneidad de varianzas			
PU			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,075	2	12	,168

Según la **Tabla N° 160** todos los resultados obtenidos de la succión capilar en el concreto endurecido presentan una distribución normal ya que, tienen un P-valor (Sig.) mayor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador.

**c. Regresión**

Para evaluar si es aceptada o no la ecuación que describe la regresión, se evalúa el P-valor (Sig.) resultante de la regresión y se compara con la significancia (0.05). Se acepta la ecuación de regresión si el P-valor es menor que la significancia (0.05).

**1) R a/c = 0.55:**

**Tabla N° 159:** Estadísticas de Regresión de la Succión Capilar Ra/c = 0.55

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.970558561
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.94198392
R <sup>2</sup> ajustado	0.922645227
Error típico	0.324803056
Observaciones	5

**Tabla N° 160:** Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar  $Ra/c = 0.55$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	5.13873923	5.13873923	48.70980224	0.00603733
Residuos	3	0.31649108	0.10549703		
Total	4	5.4552303			

**Tabla N° 161:** Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar  $Ra/c = 0.55$

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	16.023	0.25159137	63.6866054	8.52984E-06	15.222324	16.82367601	15.222324	16.823676
Variable X 1	-4.779	0.68474496	-6.97924081	0.006037333	-6.95816408	-2.599835917	-6.95816408	-2.59983592

2)  $R a/c = 0.65$ :

**Tabla N° 162:** Estadísticas de Regresión de la Succión Capilar  $Ra/c = 0.65$

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.931373661
Coefficiente de determinación $R^2$	0.867456897
$R^2$ ajustado	0.823275862
Error típico	0.730542487
Observaciones	5

**Tabla N° 163:** Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar  $Ra/c = 0.65$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	10.4785932	10.4785932	19.63414637	0.02135739
Residuos	3	1.60107698	0.53369233		
Total	4	12.0796702			

**Tabla N° 164:** Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar  $Ra/c = 0.65$

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	17.2312	0.56587578	30.4504994	7.78044E-05	15.4303307	19.03206928	15.4303307	19.0320693
Variable X 1	-6.824333333	1.54011879	-4.43104349	0.021357395	-11.7256787	-1.922987979	-11.7256787	-1.92298798

**3) R a/c = 0.70:**

**Tabla N° 165:** Estadísticas de Regresión de la Succión Capilar  $Ra/c = 0.70$

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.954407128
Coefficiente de determinación $R^2$	0.910892966
$R^2$ ajustado	0.881190621
Error típico	0.591647953
Observaciones	5

**Tabla N° 166:** Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar  $Ra/c = 0.70$

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	10.7350321	10.7350321	30.66737581	0.01160611
Residuos	3	1.0501419	0.3500473		
Total	4	11.785174			

**Tabla N° 167:** Análisis de la varianza de Regresión de la Succión Capilar  $Ra/c = 0.70$

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	17.4017	0.45828853	37.9710569	4.01818E-05	15.9432213	18.86017865	15.9432213	18.8601787
Variable X 1	-6.907333333	1.2473034	-5.53781327	0.01160611	-10.8768094	-2.937857229	-10.8768094	-2.93785723

Los valores críticos de todas las relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) cumplen con el criterio de que el P-valor es menor a 0.05%, lo que significa que los resultados se comportan linealmente. Esto se puede verificar en la **Tabla N° 160, Tabla N° 163 y Tabla N° 166** en el valor crítico de F.

Por lo tanto las ecuaciones de regresión son aceptadas, siendo:

- **$Ra/c = 0.55$ :** Se acepta la ecuación  $y = -4.78x + 16.02$  y se concluye que el 94.20% de la variación del agregado reciclado está explicado por la succión capilar.
- **$Ra/c = 0.65$ :** Se acepta la ecuación  $y = -6.82x + 17.23$  y se concluye que el 86.75% de la variación del agregado reciclado está explicado por la succión capilar.
- **$Ra/c = 0.70$ :** Se acepta la ecuación  $y = -6.91x + 17.40$  y se concluye que el 91.09% de la variación del agregado reciclado está explicado por la succión capilar.

## 2. Ensayo de Succión capilar

**Tabla N° 168:** *Parámetro de velocidad de succión capilar*

	% A.R.	Muestra 1	Muestra 2	Promedio (g/(m <sup>2</sup> *s <sup>1/2</sup> ))
Ra/c = 0.55	0%	16.256	16.110	16.183
	15%	15.418	15.424	15.421
	30%	14.067	14.240	14.154
	45%	13.751	13.768	13.760
	60%	13.328	13.531	13.430
Ra/c = 0.65	0%	17.159	17.201	17.180
	15%	16.961	16.939	16.950
	30%	14.228	14.382	14.305
	45%	13.905	13.886	13.896
	60%	13.591	13.587	13.589
Ra/c = 0.70	0%	17.386	17.325	17.356
	15%	16.991	16.950	16.971
	30%	14.671	14.598	14.635
	45%	14.067	14.040	14.054
	60%	13.672	13.595	13.634

## 3. Estadísticos Descriptivos

	R a/c = 0.55	R a/c = 0.65	R a/c = 0.70
Media	14.59	15.18	15.33
Varianza	1.36	2.99	2.95
Desviación estándar	1.17	1.73	1.72
Mínimo	13.43	13.59	13.63
Máximo	16.18	17.18	17.36

## 4. Análisis de Varianza y F de Fisher.

**Tabla N° 169:** *Contrastación de hipótesis parámetro de velocidad de succión capilar*

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F ( Exp. )	F Teórico
Cantidad de agregado de concreto reciclado	4	56.58	14.15	3108.69	3.06
Relaciones agua/cemento	2	3.08	1.54	337.94	3.68
Interacción	8	2.06	0.26	56.54	2.64
Error	15	0.07	0.00		
Total	29	61.78			

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_0 > F_{0.05,4,15} = 3.06$ ,  $F_0 > F_{0.05,2,15} = 3.68$ ,  $F_0 > F_{0.05,8,15} = 2.64$

De acuerdo a la **Tabla N° 169**, los F experimentales determinados con los resultados de la succión capilar son mayores que los F teóricos, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna del investigador.

## ANEXOS

### ANEXO N°1. Certificado de ensayos de laboratorio



## CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

La que suscribe, Claudia Yomira Llacza Cruzado, hace constar por medio de la presente que el sr. Julio César Silva Ocas y la srta. Sandra Romy Rodrich Guevara, identificados con D.N.I N° 46653187 y 71782458 respectivamente, han realizado los ensayos de granulometría, contenido de humedad, peso unitario, peso específico, absorción, contenido de finos, contenido de vacíos, durabilidad a los sulfatos, resistencia al desgaste, asentamiento, temperatura, resistencia a compresión y succión capilar, en las instalaciones del *Laboratorio de Concreto y Estructuras* de esta universidad, requeridos para la tesis "*Influencia del agregado de concreto reciclado sobre las propiedades mecánicas en un concreto convencional, Trujillo 2018*"; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud de los interesados, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 12 de octubre del 2018



\_\_\_\_\_  
Claudia Yomira Llacza Cruzado  
Asistente de Laboratorio

## ANEXO N°2. Fichas técnicas de materiales

### ANEXO N°2.1. Ficha técnica de Cemento Mochica Antisalitre



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 898 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 8000



SGC-REG-06-G0002 -  
Versión 01

## CEMENTO MOCHICA ANTISALITRE

Cemento Portland Tipo MS

Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157

Pacasmayo, 15 de Junio del 2016

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA (*)	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	5	NO ESPECIFICA
Expansión en Autoclave	%	0.05	Máximo 0.80
Superficie Especifica	cm <sup>2</sup> /g	4530	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	3.7	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.94	NO ESPECIFICA

#### Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	23.3 (237)	Mínimo 11.0 (Mínimo 112)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	31.6 (322)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	42.6 (435)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

#### Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	190	Mínimo 45
Fraguado Final	min	374	Máximo 420

Expansión Barra de Mortero a 14 días	%	0.007	Máximo 0.020
Expansión por Sulfato a 6 meses	%	0.041	Máximo 0.10

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-05-2016 al 31-05-2016

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Abril 2016

La expansión por sulfatos a 6 meses corresponde al mes de Noviembre 2015

La expansión de la barra del mortero corresponde al mes de Abril 2016

(\*) Requisito opcional.



**Ing. Ivanoff Hojas**  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : **Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

### ANEXO N°2.2. Ficha técnica de Aditivo plastificante Sikament 290N



## HOJA TÉCNICA Sikament®-290N

Aditivo Polifuncional para Concreto

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikament®-290N es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.

Muy adecuado para plantas de concreto al obtener con un único aditivo dos efectos diferentes sólo por la variación de la proporción del mismo.

Sikament®-290N no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

#### USOS

Sikament®-290N está particularmente indicado para:

Todo tipo de concretos fabricados en plantas concretoras con la ventaja

de poder utilizarse como plastificante o superplastificante con sólo variar la dosificación.

En concretos bombeados porque permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento.

Transporte a largas distancias sin pérdidas de trabajabilidad.

Concretos fluidos que no presentan segregación ni exudación.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Terminación superficial de alta calidad.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite obtener mayores tiempos de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Permite reducir hasta el 25% del agua de la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.

Hoja Técnica  
Sikament®-290N  
22.01.15, Edición 11

1/4

- Proporciona una gran manejabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de cangrejeras.
- Reductor de agua.

**NORMAS** Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G.

## DATOS BÁSICOS

<b>FORMA</b>	<b>ASPECTO</b> Líquido
	<b>COLOR</b> Pardo oscuro.
	<b>PRESENTACIÓN</b> Cilindro x 200 L Balde x 20 L Dispenser x 1000 L Granel x 1L
	<b>ALMACENAMIENTO</b>
<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> Un año en su envase original bien cerrado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<p><b>DENSIDAD</b> 1,20 kg/L +/- 0,02</p> <p><b>USGBC VALORACIÓN LEED</b></p> <p>Sikament® -290 N cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.</p> <p>Contenido de VOC &lt; 420 g/L (menos agua)</p>

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<p><b>CONSUMO / DOSIS</b></p> <p>Como plastificante: del 0,3 % – 0,7 % del peso del cemento. Como superplastificante: del 0,7 % - 1,4 % del peso del cemento.</p>
<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<p><b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b></p> <p>Como Plastificante. Debe incorporarse junto con el agua de amasado.</p>

Hoja Técnica  
Sikament®-290N  
22.01.15, Edición 11

2/4

BUILDING TRUST



---

**Como Superplastificante.**

Debe incorporarse preferentemente una vez amasado el concreto y haciendo un re-amasado de al menos 1 minuto por cada m<sup>3</sup> de carga de la amasadora o camión concretero.

---

**INSTRUCCIONES DE  
SEGURIDAD**

---

**PRECAUCIONES DURANTE LA  
MANIPULACION**

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

---

**OBSERVACIONES**

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

---

**NOTAS LEGALES**

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**"La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 10**

**la misma que deberá ser destruida"**

### ANEXO N°3. Panel fotográfico

#### Anexo N° 3.1: Materiales empleados en la investigación

*Figura N° 65: Demolición de vereda para obtener el agregado reciclado.*



**Figura N° 66: Agregados y cemento utilizados en la investigación.**



**Anexo N° 3.2: Caracterización de agregados**

**Figura N° 67: Agregado reciclado para granulometría.**



**Figura N° 68: Tamizado manual de agregado.**



**Figura N° 69:** Peso unitario compactado de agregado grueso



**Figura N° 70:** Peso unitario suelto de agregado fino.



**Figura N° 71:** Peso específico de agregado reciclado.



**Figura N° 72:** Peso específico de agregado fino.



**Anexo N° 3.3: Ensayos al concreto en estado fresco**

**Figura N° 73: Ensayo de peso unitario.**



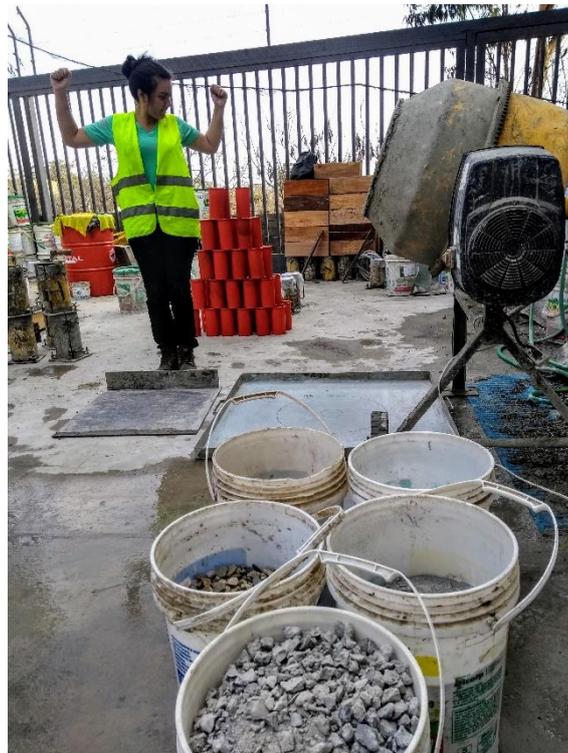
**Figura N° 74: Ensayo de asentamiento**



**Figura N° 75:** Control de temperatura.



**Figura N° 76:** Preparación de mezcla en trompo.



**Figura N° 77:** Elaboración de probetas.



**Figura N° 78:** Curado de probetas.



**Anexo N° 3.4: Ensayos al concreto en estado endurecido**

**Figura N° 79:** Ensayo de resistencia a la compresión.



**Figura N° 80:** Ensayo de resistencia a la compresión.



**Figura N° 81:** Ensayo de resistencia a la compresión.



**Figura N° 82:** Probeta después de ensayo de resistencia.



**Figura N° 83:** Corte de probetas para ensayo de succión capilar.



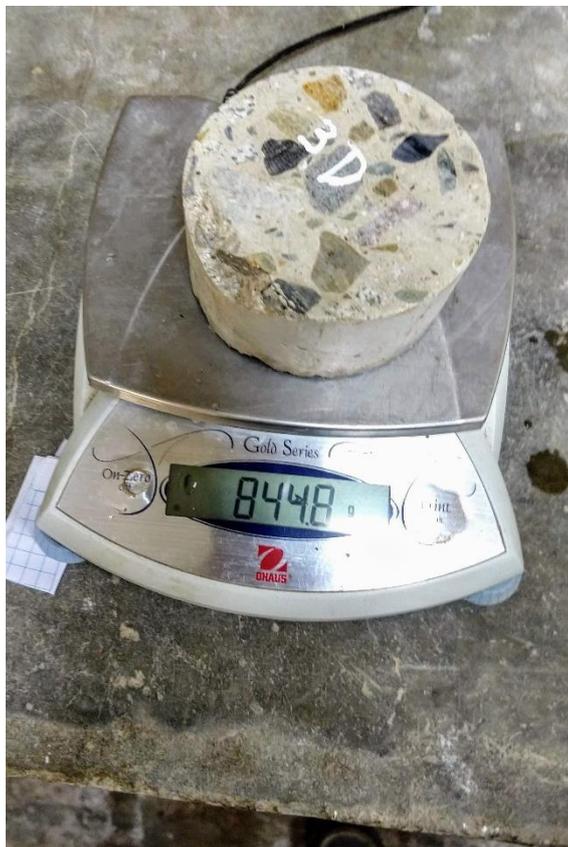
**Figura N° 84:** Impermeabilización de probetas.



**Figura N° 85:** Ensayo de succión capilar.



**Figura N° 86:** Pesaje de probeta para ensayo de succión capilar.



## ANEXO N°4. Normas utilizadas en el procedimiento experimental

### Anexo N° 4.1: NTP 400.01:2013

---

NORMA TÉCNICA	NTP 400.012
PERUANA	2013

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI  
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

### AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates

2013-01-16

3ª Edición

R.0006-2013/CNB-INDECOPI Publicada el 2013-02-01

Precio basado en 15 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis granulométrico

© INDECOPI 2013

Anexo N° 4.2: NTP 339.185:2013

---

NORMA TÉCNICA	NTP 339.185
PERUANA	2013

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI  
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para  
contenido de humedad total evaporable de agregados por  
secado

CONCRETE. Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la norma ASTM C 566-13 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying. Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

2013-08-07  
2ª Edición

R.0054-2013/CNB-INDECOPI Publicada el 2013-08-24  
I.C.S.: 91.100.30  
Descriptor: Agregados, secado, contenido de humedad

Precio basado en 08 páginas  
ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

© ASTM 2013 - © INDECOPI 2013

**Anexo N° 4.3: NTP 400.021:2013**

---

NORMA TÉCNICA	NTP 400.021
PERUANA	2013

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI  
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso

AGGREGATES. Standard test method Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of coarse Aggregate

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 127-2012 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

2013-12-26  
3ª Edición

R.0113-2013/CNB-INDECOPI. Publicada el 2014-01-16

Precio basado en 17 páginas

IC.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptorios: absorción, agregado, densidad aparente, densidad relativa aparente, densidad, agregado fino; densidad relativa, gravedad específica

© ASTM 2012 - © INDECOPI 2013

Anexo N° 4.4: NTP 400.022:2013

---

NORMA TÉCNICA	NTP 400.022
PERUANA	2013

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI  
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino

AGGREGATES. Standard test method Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 128-2012 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

2013-12-26  
3ª Edición

R.0113-2013/CNB-INDECOPI. Publicada el 2014-01-16 Precio basado en 20 páginas  
I.C.S.: 91.100.30 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE  
Descriptores: absorción, agregado, densidad aparente, densidad relativa aparente, densidad, agregado fino; densidad relativa, gravedad específica

© ASTM 2012 - © INDECOPI 2013

**Anexo N° 4.5: NTP 400.017:2011**

---

<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>NTP 400.017</b>
<b>PERUANA</b>	<b>2011</b>

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI  
Calle De la Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

**AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados**

**AGGREGATE. Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate**

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 29/C29M-2009 Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

**2011-02-02**  
**3ª Edición**

R.0002-2011/ CNB- INDECOPI Publicada el 2011-03-12

Precio basado en 14 páginas

IC.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Agregados, densidad de masa, agregado grueso, densidad, agregado fino, peso unitario, vacíos en agregados

**Anexo N° 4.6:** NTP 400.018:2013

---

**NORMA TÉCNICA** **NTP 400.018**  
**PERUANA** **2013**

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI  
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

**AGREGADOS.** Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado en agregados

**AGGREGATES.** Standard test method for determine materials finer than 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) sieve in aggregates by washing.

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 117:2013 Standard Test Method for Materials Finer than 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregate by Washing. Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

2013-12-26  
3ª Edición

R.0113-2013/CNB-INDECOPI. Publicada el 2014-01-16 Precio basado en 10 páginas  
I.C.S.: 91.100.30 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE  
Descriptores: Agregados, agregado grueso, agregado fino, gradación, pérdida por lavado, tamiz 75- $\mu\text{m}$  (N° 200), análisis granulométrico.

**Anexo N° 4.7: NTP 400.019:2002**

---

NORMA TÉCNICA	NTP 400.019
PERUANA	2002

---

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

**AGREGADOS.** Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles

**AGGREGATES.** Standard test method for resistance to degradation of small size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine

2002-01-30  
2ª Edición

Anexo N° 4.8: NTP 400.016:2011

---

NORMA TÉCNICA	NTP 400.016
PERUANA	2011

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI  
Calle De la Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de  
agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de  
magnesio

AGGREGATE. Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or  
Magnesium Sulfate

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 88-2005  
Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate,  
Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA.  
-Reimpreso por autorización de ASTM International

2011-02-02  
3ª Edición

R.0002-2011/ CNB- INDECOPI Publicada el 2011-03-12 Precio basado en 17 páginas  
I.C.S.: 91.100.10 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE  
Descriptor: Agregados, sulfato de magnesio, sulfato de sodio, inalterabilidad, intemperismo

**Anexo N° 4.9: NTP 339.034:2008**

---

<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>NTP 339.034</b>
<b>PERUANA</b>	<b>2008</b>

---

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

**HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo  
normalizado para la determinación de la resistencia a la  
compresión del concreto, en muestras cilíndricas**

CONCRETE . Standard Test method for Compressive Strength of cylindrical concrete specimens

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C39/C39M-05e1  
Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Derecho de autor de  
ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. –Reimpreso por  
autorización de ASTM International

**2008-01-02**  
**3ª Edición**

R.001-2008/INDECOPI-CRT. Publicada el 2008-01-25

Precio basado en 18 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Hormigón, concreto, resistencia, resistencia a la compresión, muestras cilíndricas

**Anexo N° 4.10: NTP 339.035:2009**

---

<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>NTP 339.035</b>
<b>PERUANA</b>	<b>2009</b>

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

## HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland

CONCRETE. Standard test method for measure slump of Portland cement concrete

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 143/C143-2008 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

**2009-12-23**  
**3ª Edición**

R.034-2009/INDECOPI-CNB. Publicada el 2010-02-20

Precio basado en 09 páginas

I.C.S.: 91.100.10

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Concreto, cono, consistencia, plasticidad, asentamiento, trabajabilidad

Anexo N° 4.11: NTP 339.033:2009

<b>NORMA TÉCNICA PERUANA</b>	<b>NTP 339.033 2009</b>
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOP Calle de La Prusa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145	Lima, Perú

**HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la  
elaboración y curado de especímenes de concreto en campo**

CONCRETE. Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOP está basada en la Norma ASTM C 31/C 31M-2008b Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

2009-08-26  
3ª Edición

R.026-2009/INDECOP-CNB. Publicada el 2009-09-13 Precio basado en 17 páginas  
I.C.S.: 91.100.30 ESTÁ NORMA ES RECOMENDABLE  
Descripción: Hormigón, concreto, práctica normalizada, elaboración, curado, especímenes de concreto

**ANEXO N°5. Constancia de Ferretería “Decas”.**

**FERRETERIA**  
**DECAS** E.I.R.L.

RUC: 20481299862  
Correo: fdecas@gmail.com

Trujillo, 05 de Noviembre del 2018

**Carta N° 20-2018/fdeirl**

Estimados Señores,

De nuestra especial consideración, por medio de la presente hacemos llegar nuestro más cordial saludo y a la vez hacerle de conocimiento que el material de agregado que nuestra empresa vende en su establecimiento es proveniente de la cantera HUANCHACO

Sin otro particular, nos despedimos

Atentamente,

Ferretería DECAS E.I.R.L.  
Viviane Sallí Castillo Benites  
Gerente General

Ferretería Decas E.I.R.L.

Mz. RI Lote 4 Urb. San Isidro II etapa - Trujillo - Trujillo - La Libertad