

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE AGREGADO  
RECICLADO Y TIEMPO DE CURADO EN LA RESISTENCIA  
A LA COMPRESIÓN DE MORTERO PROCEDENTE DE  
RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN, CAJAMARCA, 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Milton Alexander DÍAZ BARÓN  
Meliza Elisbeth MURGA MENDOZA

Asesor:

Mg. Gary Christiam FARFÁN CHILICAUS

Cajamarca - Perú

2019



## DEDICATORIA

Agradecer a Dios, por acompañarnos y ayudarnos durante toda nuestra carrera y permitirnos concluir los estudios y a todas esas personas que de una u otra forma nos orientaron y apoyaron a lo largo del camino.

A nuestra familia por estar allí compartiendo nuestro entusiasmo en los momentos de felicidad y brindarnos su soporte y colaboración en los momentos difíciles. Nuestros padres son nuestra mayor inspiración y nuestros pilares incondicionales. Los adoramos.

A nuestros queridos hermanos, que han estado en los momentos más difíciles y nos han servido de apoyo incondicional, brindándonos todo su aprecio y consideración. Los queremos.

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro más sincero agradecimiento al Mg. Gary  
Christiam Farfán Chilicaus, por su asesoramiento en la  
ejecución del proyecto de investigación.

A la plana docente de la Universidad Privada del Norte  
que, gracias a sus enseñanzas hicieron posible  
nuestra formación profesional.

## Tabla de contenidos

|  |    |
|--|----|
| DEDICATORIA.....   | 2  |
| AGRADECIMIENTO.....  | 3  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | 6  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | 7  |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....  | 9  |
| 1.1. Realidad problemática.....  | 9  |
| 1.2. Formulación del problema.....   | 11 |
| 1.3. Objetivos.....  | 11 |
| 1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....                                       | 11 |
| 1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....                                  | 11 |
| 1.4. Hipótesis.....  | 12 |
| 1.4.1. <i>Hipótesis general</i> .....                                      | 12 |
| 1.4.2. <i>Hipótesis específicas</i> .....                                  | 12 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....  | 13 |
| 2.1. Población y muestra.....  | 13 |
| 2.1.1. <i>Unidad de estudio</i> .....                                      | 13 |
| 2.1.2. <i>Población</i> .....  | 13 |
| 2.1.3. <i>Muestra</i> .....  | 13 |
| 2.2. Materiales, instrumentos y métodos.....                               | 16 |
| 2.2.1. <i>Materiales</i> .....   | 16 |
| 2.2.2. <i>Instrumentos</i> .....   | 17 |
| 2.2.3. <i>Métodos</i> .....  | 18 |
| 2.3. Procedimiento.....  | 18 |
| 2.3.1. <i>Morteros de cemento portland y arena estandarizada</i> .....     | 19 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS.....  | 21 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....                                 | 24 |
| 4.1. Discusión.....  | 24 |
| 4.2. Conclusiones.....   | 26 |
| REFERENCIAS.....   | 28 |
| ANEXOS.....  | 32 |
| ANEXO n.º 1. Resultados de las pruebas de resistencia a la compresión..... | 32 |
| 1. <i>Cálculos para el análisis de varianza (ANOVA)</i> .....              | 32 |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| 2.           | <i>Cálculo del término de corrección.....</i>   | 35 |
| 3.           | <i>Cálculo de la suma del total de cuadrados (SST).....</i>                                 | 35 |
| 4.           | <i>Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSA).....</i>                 | 35 |
| 5.           | <i>Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSB).....</i>                 | 35 |
| 6.           | <i>Cálculo de (SSSub totales).....</i>  | 36 |
| 7.           | <i>Cálculo de la suma de cuadrados debido al error (SSE) .....</i>                          | 36 |
| 8.           | <i>Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSAB).....</i>                | 36 |
| 9.           | <i>Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (MSA) .....</i>    | 36 |
| 10.          | <i>Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MSB).....</i>  | 36 |
| 11.          | <i>Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MSAB).....</i> | 37 |
| 12.          | <i>Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido al error (MSE) .....</i>              | 37 |
| 13.          | <i>Cálculo de la función Fo.....</i>  | 37 |
| ANEXO n.º 2. | Procedimientos en el laboratorio .....  | 40 |
| ANEXO n.º 3. | Datos para análisis estadísticos .....  | 43 |
| ANEXO n.º 4. | Datos experimentales adicionales .....  | 44 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Caracterización inicial de las probetas que fueron sometidas a ensayo de compresión.....  | 13 |
| Tabla 2. Estimación del valor por prueba y error.....  | 15 |
| Tabla 3. Matriz de diseño experimental para los niveles de las variables de estudio.....   | 16 |
| Tabla 4. Proporciones de la mezcla de mortero con material Cemento portland (CP), Agregado Reciclado (AR) y Agregado Natural (AN) para una relación de Material Cementante (MC)/Agregado = 1 / 2.75..... | 20 |
| Tabla 5. Resistencia a la compresión después de realizar los ensayos, en MPa.....  | 21 |
| Tabla 6. Cuadro resumen del análisis de varianza para la resistencia a la compresión de mortero.....   | 23 |
| Tabla A.1. Resultados de la resistencia a la compresión (MPa) después de realizar los ensayos.....   | 32 |
| Tabla A.2. Resultados de la resistencia a la compresión (MPa) después de realizar los ensayos.....   | 34 |
| Tabla A.3. Cuadro resumen del análisis de varianza para la resistencia a la compresión de mortero.....   | 38 |
| Tabla A.4. Puntos porcentuales de la distribución F0.05, v1, v2.....   | 43 |
| Tabla A.5. Datos de resistencia a la compresión en Mpa.....  | 44 |
| Tabla A.6. Datos de resistencia a la compresión en kg/cm <sup>2</sup> .....  | 50 |
| Tabla A.7. Definición operacional de las variables.....  | 52 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Curvas características de operación (CCO) (Taboada, 2014).....  | 15 |
| Figura 2. Resultados de la resistencia a la compresión después de realizar los ensayos con la influencia del tiempo de curado y dosificación de agregado reciclado..... | 21 |
| Figura A.1. Molde cúbico.....   | 40 |
| Figura A.2. Equipo para enmolado y compactado.....  | 40 |
| Figura A.3. Desmolde de probetas.....   | 41 |
| Figura A.4. Probetas de mortero cúbico.....   | 41 |
| Figura A.5. Equipo prensa de compresión.....  | 41 |
| Figura A.6. Ensayo de resistencia a la compresión del mortero.....  | 42 |
| Figura A.7. Gráfico de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm).....   | 45 |
| Figura A.8. Gráfico de barras de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm).....   | 46 |
| Figura A.9. Gráfico de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm) a 28 días y 30% de agregado reciclado.....   | 47 |
| Figura A.10. Gráfico de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm) a 28 días y 50% de agregado reciclado.....  | 48 |
| Figura A.11. Gráfico de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm) a 28 días y 100% de agregado reciclado.....   | 49 |
| Figura A.12. Gráfico de resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) vs. Deformación (mm/mm).....  | 51 |

## RESUMEN

Se estudió la influencia de la dosificación de agregado reciclado y tiempo de curado sobre la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción. El estudio experimental se realizó utilizando probetas sometida a diferentes tiempos de curado a 3, 7 y 28 días, y diferentes dosificaciones de agregado reciclado a 30, 50 y 100 %. El resultado del estudio concluyó que la resistencia a la compresión a 3 días y 30 % de agregado reciclado fue de 5.11 MPa y a medida que el tiempo de curado aumentaba y la dosificación de agregado reciclado aumentaba, la resistencia a la compresión aumentaba, es así que se llegó a obtener una resistencia a la compresión de 21.40 MPa a un parámetro de 28 días de curado y 50 % de agregado reciclado. Los resultados son confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%. De esto se concluye que el incremento de resistencia a la compresión por la influencia del tiempo de curado es de  $F_0 = 2177.68$  es mayor al  $F_{0.05; 2; 18} = 3.55$ , y la influencia del % de agregado reciclado es de  $F_0=8.06$  es mayor al  $F_{0.05; 2; 18} = 3.55$  y con la influencia de la interacción del tiempo de curado y la dosificación de agregado reciclado fue de  $F_0=5.09$  es mayor al  $F_{0.05; 4; 18} = 2.93$ , obtenido de manera tabular. Esto confirma la aceptación de la hipótesis alterna, por lo tanto, la influencia del tiempo de curado y dosificación de agregado reciclado de manera individual como en conjunto si afectan significativamente en el incremento de la resistencia a la compresión. Con respecto al resultado obtenido con 100% de agregado reciclado y 28 días de curado se obtuvo 21.36 MPa muy similar con el de 50 % de agrado reciclado.

**Palabras clave:** Compresión, agregado, reciclado, tiempo, curado.



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La construcción es uno de los sectores de producción más importantes del mundo y, por tanto, genera un gran impacto en la producción de residuos (Sólis, Marrero, Delgado, & Ramírez, 2015).

Los residuos de Construcción y Demolición (RCD) son generados como consecuencia de la actividad del sector de la construcción y se producen a lo largo de todo el ciclo de vida de la obra. Proceden mayoritariamente de derribos de edificios o de rechazos de los materiales de construcción en obras de infraestructuras, obras de nueva planta y de pequeñas obras de reformas en viviendas y urbanizaciones (Topcu & Guncan, 2015).

Los datos más recientes de la oficina de estadística de la Unión Europea (Eurostat, 2016), estiman la producción de RCD en Europa (UE-28) durante el año 2012 en 821 millones de toneladas (MMt), lo que supuso el 33% del total de residuos generados en la UE-28. España se encuentra en la sexta posición de países más productores con un total de 26 MMt (Debieb, Courard, Kenai, & Degeimbre, 2014).

No obstante, en el año 2007 la tasa de producción de RCD generada en España superó los 42 MMt coincidiendo con el periodo de mayor intensidad del sector de la construcción, según los datos oficiales aportados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2010), con un ritmo de crecimiento anual del 8,7% desde el año 2001, aunque esta tendencia de crecimiento cambió drásticamente a partir de 2008 debido a la crisis económica y la fuerte bajada del sector de la construcción (Topcu & Guncan, 2015).

El aumento de la producción de este tipo de residuos, generados principalmente en los países desarrollados, ha desencadenado el desarrollo de numerosos estudios científico-técnicos para evitar su depósito en vertederos y fomentar su reciclado. Esto contribuiría notablemente a evitar la extracción de materias primas y el agotamiento de un recurso natural no renovable como son los agregados empleados en construcción (Debieb, Courard, Kenai, & Degeimbre, 2014)

A su vez, se han promulgado Directivas Europeas, Leyes, Decretos, Reales Decretos, Planes, Programas y Guías con el fin de gestionar adecuadamente los RCD y fomentar la reutilización, reciclaje y otras formas de valorización de los mismos. La implantación de un plan de gestión de RCD supone una mejora en la eficacia ambiental del área donde se implantan (Del Río Merino, Azevedo, & Gracia, 2013).

Con respecto al estado peruano, se puede mencionar que en Lima se generan 19 mil toneladas de desmonte al día y el 70% va al mar o ríos. Solo una pequeña proporción va a zonas autorizadas. El resto termina en ríos y el mar por mafias que luego convertirán esos suelos en predios rentables para viviendas. La demolición parece ser un negocio tan rentable como la propia construcción. O por lo menos lo es en Lima, una ciudad donde cada día se producen 30.000 m<sup>3</sup> de desmonte, es decir, unas 19.000 toneladas, el peso de cincuenta aviones Boeing 747 cargados de combustible y pasajeros. Estas cifras, de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) (El Comercio, 2017).

Cajamarca no es ajeno a esta problemática, es en este sentido que existe una ineficiente gestión de la basura por parte de las administraciones públicas (municipalidad, DISA, MINSA, MINAM). La contaminación tiene que ver también con el proceso urbanístico, además de llevar a la destrucción de áreas verdes y demolición antiguas

construcciones para dar paso a la modernidad, no se toma en cuenta en donde se arrojan los desechos de estas construcciones (bloques de cemento, de ladrillos, fierros, empaques). No existe una cultura ambiental, ni respeto al medio ambiente por parte de la población cajamarquina, tampoco se cumplen las disposiciones u ordenanzas municipales (Bustamante, Blanco, Rafael, Diaz, & Tafur, 2014).

Después de las consideraciones expuestas, se puede apreciar la necesidad de realizar estudios experimentales que permitan profundizar en el conocimiento de reutilización de materiales provenientes de construcción y demolición que sea sostenible y eficiente.

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida influye la dosificación de agregado reciclado y tiempo de curado en la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción, Cajamarca?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la dosificación de agregado reciclado y tiempo de curado en la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción, Cajamarca.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de la dosificación de agregado reciclado en la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

- Evaluar la influencia del tiempo de curado en la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.
- Determinar la interacción de la dosificación de agregado reciclado y tiempo de curado sobre la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

#### **1.4. Hipótesis**

A medida que aumenta la dosificación y el tiempo de curado del agregado reciclado, aumentará la resistencia a la compresión hasta un punto en el que va a mantenerse la RC.

##### **1.4.1. Hipótesis general**

A medida que aumenta la dosificación de agregado reciclado y aumenta el tiempo de curado, se incrementará la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción, Cajamarca.

##### **1.4.2. Hipótesis específicas**

La dosificación de agregado reciclado influye significativamente en la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

El tiempo de curado influye significativamente en la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

La interacción de la dosificación de agregado reciclado y tiempo de curado influyen significativamente sobre la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Población y muestra

#### 2.1.1. Unidad de estudio

Para la presente investigación se consideró como unidad de estudio al mortero fabricado con agregado reciclado proveniente de residuo de construcción.

#### 2.1.2. Población

La población estuvo constituida por 27 probetas de mortero con agregado reciclado de construcción que fueron sometidas a ensayos de resistencias a la compresión.

#### 2.1.3. Muestra

La muestra estuvo constituida por 27 probetas que fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión, las cuales presentaron las siguientes características.

**Tabla 1**

*Caracterización inicial de las probetas que fueron sometidas a ensayo de compresión*

| <b>Característica</b>                       | <b>Medida</b>                                 |
|---|---|
| Medidas (mm <sup>3</sup> )                  | 40 * 40 * 40                                  |
| Fluidez                                     | 110 +/- 5                                     |
| Cemento/arena estándar                      | 1 / 1.275                                     |
| Agua L / m <sup>3</sup> de mortero          | 250 L agua / m <sup>3</sup> mortero           |
| V <sub>arena</sub> / m <sup>3</sup> mortero | 0,441 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> mortero |
| Masa de arena                               | 1 124.6 kg / m <sup>3</sup> mortero           |

Para el cálculo del tamaño de muestra y teniendo en cuenta que al cometer un error para aceptar la hipótesis nula es  $\beta \leq 0.05$ , se aplica la siguiente fórmula:

$$\Phi^2 = \frac{r * a * D^2}{2 * b * \sigma^2}$$

Donde: r es el número de repeticiones, a es 3, debido a que son los niveles de la variable independiente o renglón (concentración del activador o temperatura de curado); b es 3, debido a que son los niveles de la variable dependiente o columna (resistencias a la compresión); r es 3, debido a que es el número de repeticiones; D es 4, asumiendo que es la diferencia máxima entre dos medidas del factor columna, con una desviación estándar  $\sigma$  igual a 2. Entonces, reemplazando datos queda lo siguiente:

$$\Phi^2 = \frac{r * 3 * 4^2}{2 * 3 * 2^2} = 2r$$

Los grados de libertad del numerador ( $v_1$ ) y denominador ( $v_2$ ) se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$v_1 = a - 1$$

$$v_2 = ab(r - 1)$$

Entonces, reemplazando datos queda lo siguiente:

$$v_1 = 3 - 1 = 2$$

Luego, calculando  $\Phi$  y  $v_2$  para determinar cada valor de r (tabla 2) que se va estimando con curvas características de operación (figura 2), para un  $\alpha = 0.05$ .

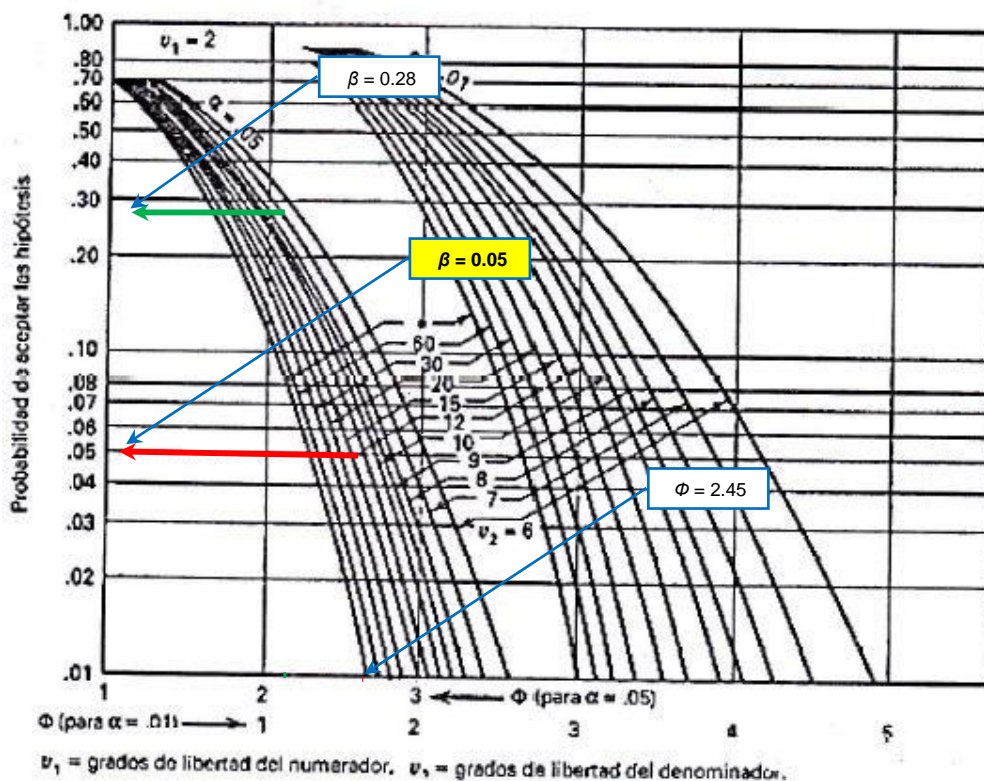


Figura 1. Curvas características de operación (CCO) (Taboada, 2014)

**Tabla 2**

*Estimación del valor por prueba y error*

| $r$ | $\Phi^2$ | $\Phi$ | $v_2$            | $\beta$ | $P(1 - \beta)$ |
|-----|----------|--------|------------------|---------|----------------|
| 2   | 4        | 2,00   | $3(3)(2-1) = 9$  | 0.28    | 0.72           |
| 3   | 6        | 2,45   | $3(3)(3-1) = 18$ | 0.05    | 0.95           |

Por aproximaciones sucesivas, se decide por  $r = 3$  debido a que, a este valor,  $\beta = 0.05$  hallado, es igual que el  $\alpha = 0.05$ . En consecuencia, el tamaño de muestra será:

$$N = abr$$

Reemplazando datos queda  $N = 3 * 3 * 3 = 27$  pruebas o muestras para cada una de los datos encontrados para las resistencias a la compresión, la cual se muestra en la tabla 4.

**Tabla 3**

*Matriz de diseño experimental para los niveles de las variables de estudio*

| Niveles                 |         | Fator A: Dosificación de agregar reciclado (%) |      |         |      |          |      |
|-------------------------|---------|--|------|---------|------|----------|------|
|                         |         | A1 = 30  |      | A2 = 50 |      | A3 = 100 |      |
| Factor B:               | B1 = 3  | B1A1   |      | B1A2    |      | B1A3     |      |
|                         |         | B1A1   | B1A1 | B1A2    | B1A2 | B1A3     | B1A3 |
|                         |         | B1A1   |      | B1A2    |      | B1A3     |      |
| Tiempo de curado (días) | B2 = 7  | B2A1   |      | B2A2    |      | B2A3     |      |
|                         |         | B2A1   | B2A1 | B2A2    | B2A2 | B2A3     | B2A3 |
|                         |         | B2A1   |      | B2A2    |      | B2A3     |      |
|                         | B3 = 28 | B3A1   |      | B3A2    |      | B3A3     |      |
|                         |         | B3A1   | B3A1 | B3A2    | B3A2 | B3A3     | B3A3 |
|                         |         | B3A1   |      | B3A2    |      | B3A3     |      |

La tabla 3 servirá para plasmar los resultados que se obtendrán para la resistencia a la compresión del mortero.

## 2.2. Materiales, instrumentos y métodos

### 2.2.1. Materiales

- **Mezcladora:** Maquinaria dotada de una pala que giró en su eje a velocidad rápida y lenta para homogenizar la colada de mortero y un



recipiente de acero inoxidable u otro material inalterable por el agua y el cemento.

- **Moldes:** Los moldes de acero, dotados de una dureza y rigidez suficiente para no ser deformados por los golpes en el proceso de compactación, poseen tres compartimentos de dimensiones de (40x40x160) mm. Las paredes y el fondo eran de un espesor de 10mm. Sobre los moldes se colocó un aditamento llamado tolva para sujetar el molde en la compactadora.

### 2.2.2. Instrumentos

- **Compactadora:** Maquinaria cuya función fue elevar el molde y su tolva correspondiente a una altura de 15 mm repetitivamente en dos ocasiones. Se le dieron 25 golpes por cada una de ellas, una con el molde mediado y otra con un pequeño reboso del material para lograr una compacidad adecuada, así mismo se logró menos cantidad de poros y una mayor durabilidad en el mortero.
- **Prensa:** Maquinaria con un error que establece la mínima escala de 0,2kN y un máximo de fuerza de 100kN. Consta fundamentalmente de un dispositivo indicador que permanece fijo cuando se realiza la rotura de la probeta al ser descargada la máquina de ensayo indicando el valor de rotura de la probeta y otro eje vertical paralelo a este que en el momento que rompe la probeta, ya sea a flexión o compresión, tenderá inmediatamente a cero indicando que rompió el elemento sometido a carga. La presión que se le aplicó a la probeta sobre las dos placas de acero de elevada dureza se aumentó manualmente y estuvo provista del

dispositivo indicador antes mencionado que además controla la velocidad de carga.

### 2.2.3. Métodos

#### A. Tipo de Investigación

**Según el propósito.- Aplicada:** Fue aplicada ya que se utilizaron los conocimientos en la práctica, para aplicarlos en provecho de la sociedad. Se tuvo como propósito dar solución a una situación o problema concreto e identificable como es reducir el porcentaje de un contaminante como son los residuos de demolición y construcción.

**Según el diseño de investigación.- Experimental:** Fue experimental, debido a que es una situación de control en la cual se manipula de manera intencional las dos variables independientes de trabajo (dosificación de agregado reciclado y tiempo de curado) para analizar las consecuencias sobre la variable dependiente (resistencia a la compresión).

#### B. Operacionalización de variables

##### **Variables independientes:**

A: Tiempo de curado (días): 3, 7, 28

B: Dosificación de agregado reciclado (%): 30, 50, 100

**Variable dependiente: Resistencia a la compresión (MPa).**

### 2.3. Procedimiento

Las pruebas de compresión se realizaron de acuerdo con la norma ASTM C 109 y se llevaron a cabo tanto para los morteros sin agregado reciclado como para los morteros con agregado reciclado, después de alcanzar el tiempo de curado se fallarán a

compresión 3 muestras de cada composición de acuerdo con la norma. Se fabricaron morteros en diferentes etapas para evaluar cada aspecto de la mezcla, así:

### **2.3.1. Morteros de cemento portland y arena estandarizada**

Se fabricaron cubos de 40\*40\*40 mm para evaluar la incidencia de diferentes porcentajes de agregado reciclado en la resistencia a compresión. El cemento portland se homogenizó previamente con agregado reciclado de manera manual y en porcentajes de reemplazo de 30, 50 y 100 % (en contraparte se agregó 70, 50 y 0 % de agregado natural). Luego se adicionó agua. Posteriormente se amasaron y compactaron mecánicamente las mezclas con diferentes porcentajes de agregado residual, agregado natural, cemento portland y arena estandarizada. Por último, se desmoldarán los cubos y se trasladarán a un cuarto húmedo donde se curarán con una humedad relativa del 96% y una temperatura de  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Con estos morteros se evaluó la incidencia en la resistencia a compresión de las mezclas elaboradas con cemento portland fallándolas a edades de 3, 7 y 28 días, se utilizó arena estandarizada para evaluar solo el comportamiento del material cementante y escoger la mejor relación entre cantidad reemplazada de agregado reciclado vs su resistencia. El mortero control se preparará conservando una relación de 1/2.75 (cemento portland / arena estandarizada). Se variaron las relaciones agua/material cementante de acuerdo a cada porcentaje de agregado para alcanzar la misma fluidez en todas las mezclas.

Tras la inclusión de agregado reciclado en las mezclas y teniendo en cuenta que este tipo de agregado es más poroso y absorbe mayor cantidad de agua en

comparación a los convencionales, se tuvo en cuenta la absorción de los agregados para alcanzar la fluidez promedio de 110 +/- 5 exigido por la norma (NTP) 339.035 o ASTM C-143, para este mismo fin también se maneja la misma relación agua : material cementante para asegurar la misma cantidad de agua en el sistema al variar las combinaciones y así entender la influencia de los porcentajes de agregado reciclado en la resistencia a compresión.

#### Tabla 4

*Proporciones de la mezcla de mortero con material Cemento portland (CP), Agregado Reciclado (AR) y Agregado Natural (AN) para una relación de Material Cementante (MC)/Agregado = 1 / 2.75*

| Proporciones de la mezcla |                     |                  |                    |
|---------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| Mezcla                    | Material Cementante | Agregado Natural | Agregado reciclado |
| 0                         | 1                   | 2.75             | ---                |
| 30% AR                    | 1                   | 1.925            | 0.825              |
| 50% AR                    | 1                   | 1.375            | 1.375              |
| 100% AR                   | 1                   | ---              | 2.75               |

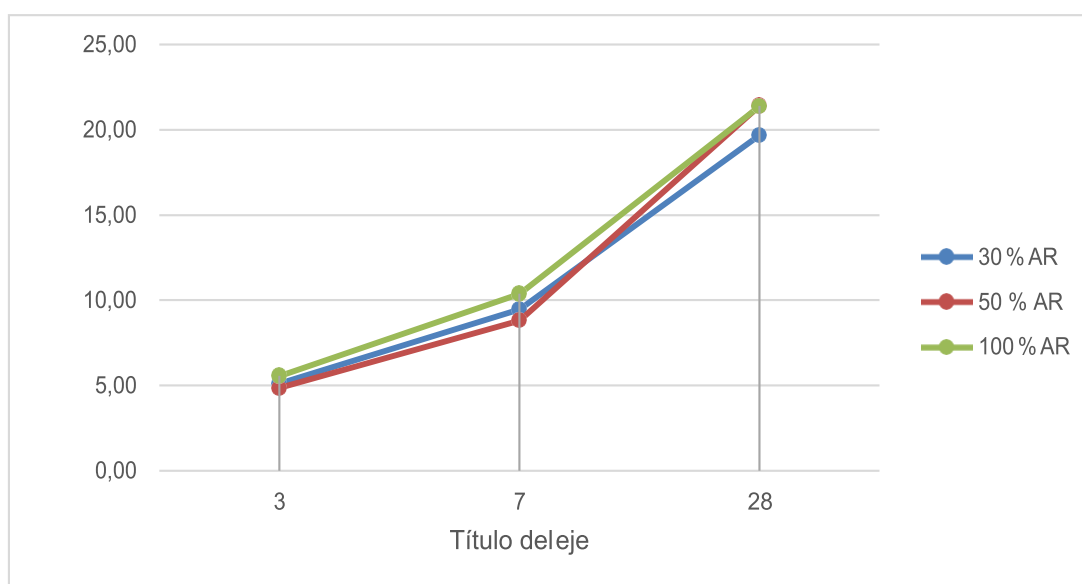
### CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados de las diferentes pruebas experimentales para hallar la resistencia a la compresión, variando el tiempo de curado y la dosificación de agregado reciclado, se muestra a continuación.

**Tabla 5**

*Resistencia a la compresión después de realizar los ensayos, en MPa*

| Diseño                     | B: Dosificación agregado reciclado, (%) |       |       |       |
|----------------------------|---|-------|-------|-------|
|                            | 30                                      | 50    | 100   |       |
| A: Tiempo de curado (días) | 3                                       | 5.11  | 4.86  | 5.56  |
|                            | 7                                       | 9.47  | 8.81  | 10.38 |
|                            | 28                                      | 19.67 | 21.40 | 21.36 |



**Figura 2.** Resultados de la resistencia a la compresión después de realizar los ensayos con la influencia del tiempo de curado y dosificación de agregado reciclado.

En el resultado se puede apreciar que a 28 días y 50 % de dosificación de agregado reciclado se obtuvo la mayor resistencia a la compresión, obteniéndose un valor máximo de compresión de 21.40 MPa y cuando se utiliza 100 % de dosificación de agregado reciclado hubo una ligera disminución de la resistencia a la compresión (21.36 MPa) la cual se dio debido a que el mortero estuvo compuesto de diversas organizaciones microscópicas que suelen modelarse teóricamente como estructuras cristalinas. A partir de este concepto de estructura cristalina es posible explicar muchas propiedades que exhiben los materiales, sean estos cristalinos o amorfos. El plantear que en un material clasificado como cristalino posee estructura cristalina es una idealización que no siempre se cumple en los materiales reales. La forma como están colocados los átomos en un material real normalmente difiere de la posición ideal que se espera a partir de la estructura cristalina. Esto quiere decir que en la práctica no conviene asumir que los cristales son perfectos. Los cristales perfectos pueden definirse como una agrupación estable y ordenada de átomos (iones o moléculas) enlazados entre sí. Como sabemos los cristales reales no guardan una distribución perfectamente ordenada y regular de sus átomos, sino que por el contrario presentan ciertas imperfecciones cristalinas. Estas imperfecciones suelen ser un defecto o desviación en los arreglos atómicos que se esperan en una estructura cristalina. Las clasificaciones de las imperfecciones dependen de la geometría y dimensiones de la imperfección. Los defectos puntuales modifican el arreglo de los átomos circundantes, distorsionando la red a lo largo de cientos de espaciamientos de unidades atómicas, a partir del defecto. Es en este sentido que lo que puede haber ocurrido en el mortero es que la dislocación, que se mueva a través de las cercanías generales de un defecto puntual encuentra una red en la cual los átomos no están en sus posiciones de equilibrio. Esta alteración requiere que se aplique un esfuerzo más alto para obligar a que la dislocación venza al defecto, incrementándose así, la resistencia a la

compresión del mortero. Otro factor importante fue el tamaño de los granos en donde al reducir el tamaño de estos se incrementa su número y por tanto se aumenta la cantidad de fronteras de grano, de esta manera se incrementa la resistencia del mortero. Aparecen un arreglo de dislocaciones que produce una pequeña desviación de la orientación cristalográfica entre las redes vecinas, los bordes de ángulo pequeño formados por dislocaciones de borde que se conocen como bordes inclinado generándose una mayor resistencia a la compresión.

**Tabla 6**

*Cuadro resumen del análisis de varianza para la resistencia a la compresión de mortero.*

| Fuente de Variación                 | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Media de Cuadrados | $F_0$   | $F_{\alpha, v1, v2}$ |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|----------------------|
| Tratamiento A<br>(Tiempo de curado) | 2.0                | 1163.15           | 581.58             | 2177.68 | 3.55                 |
| Tratamiento B<br>(% de RA)          | 2.0                | 4.30              | 2.15               | 8.06    | 3.55                 |
| Interacción AB                      | 4.0                | 5.43              | 1.35               | 5.09    | 2.93                 |
| Error                               | 18.0               | 4.80              | 0.26               |         |                      |
| Total                               | 26.0               | 1177.7            |                    |         |                      |

En el resultado se puede apreciar que, para cada una de las variables independientes, así como para la interacción de las mismas, el  $F_0 > F_{\alpha, v1, v2}$ , esto quiere decir que existe razón suficiente para decir que afectan al incremento de la resistencia a la compresión.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Se determinó la dosificación de agregado reciclado óptimo para el aumento de la resistencia a la compresión el cual fue de 21.40 MPa a 50 % de agregado reciclado. Así mismo se corroboró a un nivel de significancia de 95%, lo anteriormente expuesto mediante el análisis de varianza donde la dosificación de agregado reciclado afecta significativamente la resistencia a la compresión el  $F_o = 8.06 > F_{0.05, 2, 18} = 3.55$ . Ello es corroborado por Parra (2014), en su tesis denominada “Caracterización de residuos de construcción y demoliciones de la comunidad de Madrid como agregados reciclados para la fabricación de hormigones” manifiesta la importancia en la caracterización composicional, física y química de los agregados reciclados, recomienda que para la obtención de buenos resultados en los hormigones reciclados, no superar sustituciones de agregado grueso del 50%, analiza las dificultades debidas a la elevada absorción de los agregados y, por ello, se sugiere la saturación previa a la preparación del hormigón para garantizar su trabajabilidad. En cuanto a las propiedades mecánicas, la resistencia a compresión en los hormigones reciclados ensayados es equiparable a la de los convencionales con sustituciones de hasta el 60% del agregado grueso con un 20% de residuos procedentes de ladrillo. En lo referente a la durabilidad, la penetración de agua es similar a la de los hormigones convencionales. Otra investigación que corrobora lo anteriormente expuesto es la tesis denominada “Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas”. Tesis publicada en el año 2008 por Fernando López Gayarre, en la que se realiza un profundo estudio de los resultados



experimentales obtenidos sobre las principales propiedades del hormigón reciclado llevada a cabo mediante análisis de varianza, determinando las diferencias más significativas existentes, debidas a la fluctuación en los niveles fijados para los factores considerados, respecto al hormigón convencional. Finalmente, se extraen conclusiones relativas al empleo de hormigón fabricado con agregados reciclados con fines estructurales y se sugieren futuras líneas de trabajo que nos ayuden a comprender mejor este campo (López, 2016).

Con respecto al tiempo de curado sobre la resistencia a la compresión se pudo encontrar que el parámetro óptimo fue de 28 días. Esto fue corroborado mediante el análisis de varianza a un nivel de significancia de 95% encontrándose valores de  $F_o = 2177.68 > F_{0.05, 2, 18} = 3.55$ . Ello es corroborado por la tesis denominada “Comportamiento de hormigones con agregado cerámico reciclado: estudio físico-mecánico, microestructural y de durabilidad”. Tesis defendida en el año 2011 por César Medina Martínez y en la que se analizan agregados reciclados cerámicos procedentes de residuos sanitarios. Se afirma que el agregado cerámico cumple con todos los requisitos físicos, químicos y mecánicos exigidos en el artículo 28° de la EHE-08 para los agregados que son empleados en la fabricación de hormigones. Además, los hormigones con agregado cerámico cumplen los requisitos de durabilidad (contenido mínimo de cemento y relación a/c máxima) y de resistencia característica. Por todo ello, los hormigones con agregado cerámico pueden ser utilizados con fines estructurales. Por su parte, la durabilidad de los hormigones frente a los ataques químicos, físicos y biológicos a lo largo de su vida útil, no se ve afectada de manera significativa por la incorporación de agregado cerámico. Este

buen comportamiento hace que sea posible su utilización en ambientes agresivos. Todo ello con parámetros óptimos a los 28 días de curado (Medina, 2011).

## 4.2 Conclusiones

Se logró incrementar la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción hasta 21.40 MPa. Este resultado fue el óptimo que se pudo conseguir, por lo tanto, se concluye que la experimentación tuvo resultados favorables, dando respaldo a la hipótesis planteada en donde se logra concluir que a medida que se aumentó la dosificación de agregado reciclado y el tiempo de curado, se logró incrementar la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

Se determinó la dosificación de agregado reciclado óptimo para el incremento de resistencia a la compresión el cual fue de 21.40 MPa con 50% de agregado reciclado. Así mismo se corroboró lo anteriormente expuesto mediante el análisis de varianza donde la dosificación de agregado reciclado afecta significativamente el incremento de resistencia a la compresión mediante el  $F_0 = 8.06 > F_{0.05, 2, 18} = 3.55$ .

Con respecto al tiempo de curado sobre el incremento de resistencia a la compresión se pudo encontrar que el parámetro óptimo fue de 28 días. Esto fue corroborado mediante el análisis de varianza encontrándose valores de  $F_0 = 2177.68 > F_{0.05, 2, 18} = 3.55$ .

Se determinó la interacción de la dosificación de agregado reciclado y el tiempo de curado sobre la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción encontrándose influencia significativa de la interacción de ambas variables independientes (dosificación de agregado reciclado y tiempo de curado) sobre la variable dependiente (resistencia a la compresión). Esto es corroborado por

el análisis de varianza en donde se encontró valores de  $F_0 = 5.09 > F_{0.05, 4, 18} = 2.92$ .

## REFERENCIAS

- Barra, M. (2016). *Estudio de la durabilidad del hormigón con agregado reciclado en su aplicación como hormigón armado*.
- Binti, Y. (2014). *Biosorption of selected heavy metals by free and immobilized pycnopus sanguineus: batch column studies*. New York: Staff of Chemical Engineering School. USM.
- Bravo, F. (2015). *Reciclado y reutilizo de Residuos de Construcción y Demolición, una herramienta para el desarrollo económico local*. Habana.
- Bustamante, W., Blanco, O., Rafael, N., Diaz, V., & Tafur, K. (2014). *Principales zonas de contaminación de la Provincia de Chota*. Cajamarca: Universidad Nacional Autónoma de Chota.
- Cabrera, J. (2015). *La adherencia en los morteros de albañilería*. Habana.
- Damtoft, J., Lukasik, D., Herfort, D., Sorrentino, E., & Gartner, M. (2008). *Sustainable development and climate change initiatives*. France: Denmark.
- Debieb, F., Courard, L., Kenai, S., & Degeimbre, R. (2014). *Roller compacted concrete with contaminated recycled aggregates*. *Construction and Building Materials*.
- Del Río Merino, M., Azevedo, I., & Gracia, P. (2013). *Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered*.
- El Comercio. (14 de agosto de 2017). *Lima y la generación de desmonte*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/lima-generan-19-mil-toneladas-desmonte-dia-70-mar-rios-noticia-453274>

- Gilbert, F. (2013). *Diseño de nuevos materiales procedentes del reciclaje de escombros de construcción y demolición. RUE (residuos urbanos de edificación) y RAHA (residuos de aglomerados hidráulicos y asfálticos)*. Universidad de Cantabria.
- Gómez, J. (2013). *Comportamiento tenso-deformación instantáneo y diferido de hormigón con agregado reciclado*.
- González, B. (2012). *Hormigones con agregados reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante*.
- López, f. (2016). *Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas*.
- Martín, M., Zamorano, A., Ruiz, I., & Valverde, E. (2010). *Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08*. Madrid: Constr. Build. Mater.
- Martínez, I. (2016). *Estudio sobre los residuos de construcción y demolición en Galicia: método de estimación de la producción anual y usos posibles para su reciclaje*.
- Medina, C. (2011). *Comportamiento de hormigones con agregado cerámico reciclado: estudio físico-mecánico, microestructural y de durabilidad*.
- Morales, M., Zamorano, A., Ruiz, I., & Valverde, E. (2010). *Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08*. Madrid: Constr. Build. Mater.
- ONU. (2007). *Report of the World Commission on Environment and Development*.
- Pacheco, C., Fuentes, L., & Sánchez, E. R. (2014). *Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. Ingeniería y desarrollo, 23*. Obtenido de

<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/download/8886/1067>

9

Parra, J. (2014). *Caracterización de residuos de construcción y demoliciones de la Comunidad de Madrid como agregados reciclados para la fabricación de hormigones.*

Pavón, E., Etxeberria, M., & Díaz, N. (2010). *Situación actual de la generación de Residuos de Construcción y Demolición en Ciudad Habana y su comparación con índices internacionales.* Habana: Convención internacional de ingeniería en Cuba.

Sánchez de Juan, M. (2014). *Estudio sobre la utilización de agregado reciclado para la fabricación de Hormigón Estructural.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Sánchez, M. (2014). *Estudio sobre la utilización de agregado reciclado para la fabricación de hormigón estructural.*

Sánchez, M., & Gutiérrez, A. (2009). *Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate.* Madrid: Constr. Build. Mater., vol. 23, no. 2.

Soler, Y. (2012). *Evaluación de morteros de albañilería elaborados con agregados reciclados mixtos de diferente composición procedentes del municipio Guanabacoa empleando filler reciclado.* Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

Sólis, J., Marrero, M., Delgado, M., & Ramírez, A. (2015). *A Spanish model for quantification and management of construction waste.* España: Waste Management.

Taboada, M. (2014). *Ciencias aplicadas: Diseño y análisis de experimentos.* Trujillo: Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Trujillo.

Topcu, I., & Guncan, N. (2015). *Using waste concrete as aggregate. Cement and Concrete Research*. New York.

Toscano, E. (2006). *Gestión de la ciencia y tecnología para el reciclado de los desechos sólidos en la construcción*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas.

Vegas, I., Azkarate, A., Juarrero, N., & Frías, M. (2009). *Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con agregados reciclados procedentes de escombros de hormigón*. Madrid.

## ANEXOS

### ANEXO n.º 1. Resultados de las pruebas de resistencia a la compresión

**Tabla A.1.**

Resultados de la resistencia a la compresión (MPa) después de realizar los ensayos

|                               |      | Dosificación agregada reciclado, (%) |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               |      | 30                                   |       | 50    |       | 100   |       |
| Tiempo<br>de curado<br>(días) |      | 4.99                                 |       | 4.84  |       | 5.18  |       |
|                               | 3.0  | 5.46                                 | 5.11  | 4.89  | 4.86  | 6.00  | 5.56  |
|                               |      | 4.88                                 |       | 4.76  |       | 5.49  |       |
|                               |      | 9.34                                 |       | 9.13  |       | 10.01 |       |
|                               | 7.0  | 9.56                                 | 9.47  | 8.34  | 8.81  | 10.28 | 10.38 |
|                               |      | 9.51                                 |       | 8.95  |       | 10.75 |       |
|                               |      | 19.72                                |       | 22.60 |       | 20.79 |       |
|                               | 28.0 | 19.37                                | 19.67 | 20.07 | 21.40 | 21.34 | 21.36 |
|                               |      | 19.91                                |       | 21.53 |       | 21.43 |       |

## Procesamiento estadístico de datos

### 1. Cálculos para el análisis de varianza (ANOVA)

Permite determinar si las medias de cada nivel o tratamiento son estadísticamente diferentes. Para su determinación se procedió como se indica a continuación.

#### 1.1. Datos previos

##### 1.1.1. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Nula (T H<sub>0</sub>): A medida que aumenta la dosificación de agregado reciclado, no afecta el incremento de la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.



Hipótesis Alterna ( $T H_1$ ): A medida que aumenta la dosificación de agregado reciclado, afecta el incremento de la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

Hipótesis Nula ( $T H_0$ ): A medida que aumenta el tiempo de curado, no afecta el incremento de la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

Hipótesis Alterna ( $\beta H_1$ ): A medida que aumenta el tiempo de curado, afecta el incremento de la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

Hipótesis Nula ( $T\beta H_0$ ): A medida que aumenta la dosificación de agregado reciclado y el tiempo de curado, no afecta el incremento de la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

Hipótesis Alterna ( $T\beta H_1$ ): A medida que aumenta la dosificación de agregado reciclado y el tiempo de curado, afecta el incremento de la resistencia a la compresión de mortero procedente de residuos de construcción.

### 1.1.2. Nivel de significancia

En ingeniería se trabaja con un 95 % de confianza ( $\alpha=0.05$ )

### 1.1.3. Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) si  $F_0 > F_{\alpha, V_1, V_2}$ , donde el  $F_0$  se obtiene experimentalmente y el  $F_{\alpha, V_1, V_2}$  se obtiene de tablas (ver anexo 2).

**Tabla A.2.**

*Resultados de la resistencia a la compresión (MPa) después de realizar los ensayos*

| Factor                  | Dosificación de agregado reciclado (%) |       |       |        |       |       |        |       |       | $Y_{i, prom}$ |       |
|-------------------------|--|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|---------------|-------|
|                         | 30                                     |       |       | 50     |       |       | 100    |       |       |               |       |
| Tiempo de curado (días) | 1                                      | 2     | 3     | 1      | 2     | 3     | 1      | 2     | 3     |               |       |
| 3                       | 4.99                                   | 5.46  | 4.88  | 4.84   | 4.89  | 4.76  | 5.18   | 6.00  | 5.49  | 46.49         | 5.17  |
| 7                       | 9.34                                   | 9.56  | 9.51  | 9.13   | 8.34  | 8.95  | 10.01  | 10.28 | 10.75 | 85.87         | 9.54  |
| 28                      | 19.72                                  | 19.37 | 19.91 | 22.60  | 20.07 | 21.53 | 20.79  | 21.34 | 21.43 | 186.76        | 20.75 |
| $\sum Y_j$              | 102.74                                 |       |       | 105.11 |       |       | 111.27 |       |       | 319.12        |       |
| $\sum Y_{ij}$           | 15.33                                  | 28.41 | 59.00 | 14.49  | 26.42 | 64.20 | 16.67  | 31.04 | 63.56 |               |       |

## 2. Cálculo del término de corrección

$$C = \frac{Y^2}{N}$$

$$\frac{Y^2}{N} = \frac{[(4.99) + (5.46) + (4.88) \dots + (21.43)]^2}{3 * 3 * 3} = \frac{101837.5744}{27}$$

$$\frac{Y^2}{N} = 3771.7620$$

## 3. Cálculo de la suma del total de cuadrados (SST)

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y^2_{ijk} - \frac{Y^2}{N}$$

$$SS_T = [(4.99)^2 + (5.46)^2 + (4.88)^2 \dots + (21.43)^2] - 3771.7620$$

$$SS_T = 1177.7110$$

## 4. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSA)

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{vi^2}{br} - \frac{V^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{(46.49)^2 + (85.87)^2 + (186.76)^2}{3 * 3} - 3771.7620$$

$$SS_A = 1163.1574$$

## 5. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSB)

$$SS_B = \sum_{j=1}^a \frac{vj^2}{ar} - \frac{V^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{(102.74)^2 + (105.11)^2 + (111.27)^2}{3 * 3} - 3771.7620$$

$$SS_B = 4.3083$$

## 6. Cálculo de (SSSub totales)

$$SS_B = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y^2_{ij}}{r} - \frac{v^2}{N}$$

$$SS_{sub\ totales} = \frac{(15.33)^2 + (28.41)^2 + (59.00)^2 \dots + (63.56)^2}{3} - 3771.7620$$

$$SS_{sub\ totales} = 1172.9039$$

## 7. Cálculo de la suma de cuadrados debido al error (SSE)

$$SS_E = SS_T - SS_{sub\ totales}$$

$$SS_E = 1177.7110 - 1172.9039$$

$$SS_E = 4.8071$$

## 8. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSAB)

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

$$SS_{AB} = 1177.7110 - 1163.1574 - 4.3083 - 4.8071 = 5.4382$$

## 9. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (MSA)

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

$$MS_A = \frac{1163.1574}{3 - 1}$$

$$MS_A = 581.5787$$

## 10. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MSB)

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

$$MS_B = \frac{4.3083}{3 - 1}$$

$$MS_B = 2.1541$$

**11. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MSAB)**

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{((A - 1)(B - 1))}$$

$$MS_{AB} = \frac{5.4382}{((3 - 1)(3 - 1))}$$

$$MS_{AB} = 1.3595$$

**12. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido al error (MSE)**

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

$$MS_E = \frac{4.8071}{((3 - 1)(3 - 1))}$$

$$MS_E = 0.2671$$

**13. Cálculo de la función Fo**

$$F_{OA} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_{OA} = \frac{581.5787}{0.2671}$$

$$F_{OA} = 2177.6838$$

$$F_{OB} = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_{OB} = \frac{2.1541}{0.2671}$$

$$F_{OB} = 8.0660$$

$$F_{OAB} = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$$

$$F_{OAB} = \frac{1.3595}{0.2671}$$

$$F_{OAB} = 5.0907$$

**Tabla A.3**

*Cuadro resumen del análisis de varianza para la resistencia a la compresión de mortero*

| Fuente de Variación                 | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Media de Cuadrados | F <sub>o</sub> | F <sub>α, v1, v2</sub> |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|------------------------|
| Tratamiento A<br>(Tiempo de curado) | 2.0                | 1163.15           | 581.58             | 2177.68        | 3.55                   |
| Tratamiento B<br>(% de AR)          | 2.0                | 4.30              | 2.15               | 8.06           | 3.55                   |
| Interacción AB                      | 4.0                | 5.43              | 1.35               | 5.09           | 2.93                   |
| Error                               | 18.0               | 4.80              | 0.26               |                |                        |
| Total                               | 26.0               | 1177.7            |                    |                |                        |

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de resistencia a la compresión por la influencia del tiempo de curado y el  $F_0 = 2177.68$  es mayor a  $F_{0.05, 2.18} = 3.55$ , obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia del tiempo de curado si afecta significativamente en la resistencia a la compresión.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de resistencia a la compresión con la influencia del % de agregado reciclado y el  $F_0 = 8.06$  es mayor a  $F_{0.05, 2.18} = 3.55$ , obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia del % de agregado reciclado si afecta significativamente en la resistencia a la compresión.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de resistencia a la compresión por la influencia del tiempo de curado y la dosificación de agregado reciclado y el  $F_0 = 5.09$  es mayor a  $F_{0.05}$ ,  $4.18 = 2.93$ , afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que el tiempo de curado y la dosificación de agregado reciclado si afectan significativamente en la resistencia a la compresión.

## ANEXO n.º 2. Procedimientos en el laboratorio



**Figura A.1.** Molde cúbico.



**Figura A.2.** Equipo para enmolado y compactado





**Figura A.3.** Desmolde de probetas



**Figura A.4.** Probetas de mortero cúbico.



**Figura A.5.** Equipo prensa de compresión



**Figura A.6.** Ensayo de resistencia a la compresión del mortero

### ANEXO n.º 3. Datos para análisis estadísticos

Tabla A.4

Puntos porcentuales de la distribución F0.05, v1, v2

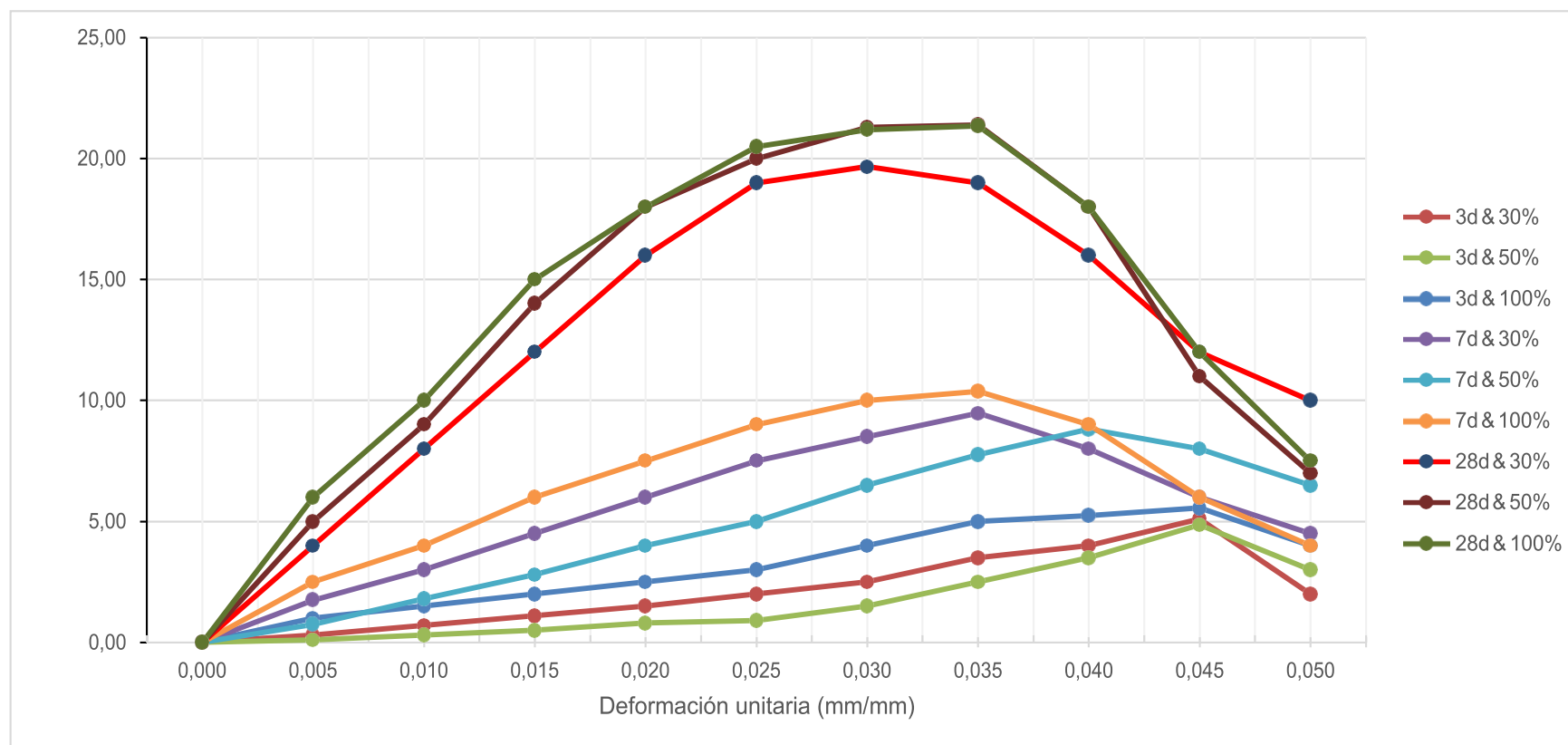
| V <sub>2</sub> \ V <sub>1</sub> | Grados de libertad del numerador (V <sub>1</sub> ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 12    | 15    | 20    | 24    | 30    | 40    | 60    | 120   | inf.  |
| 2                               | 161.4  | 199.5 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 236.8 | 238.9 | 240.5 | 241.9 | 243.9 | 245.9 | 248.0 | 249.1 | 250.1 | 251.1 | 252.2 | 253.3 | 254.3 |
| 3                               | 18.51  | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.38 | 19.40 | 19.41 | 19.43 | 19.45 | 19.45 | 19.46 | 19.47 | 19.48 | 19.49 | 19.50 |
| 4                               | 10.73  | 9.55  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.89  | 8.85  | 8.81  | 8.79  | 8.74  | 8.70  | 8.66  | 8.64  | 8.62  | 8.59  | 8.57  | 8.55  | 8.53  |
| 5                               | 7.71   | 6.94  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.09  | 6.04  | 6.00  | 5.96  | 5.91  | 5.86  | 5.80  | 5.77  | 5.75  | 5.72  | 5.69  | 5.66  | 5.63  |
| 6                               | 6.61   | 5.79  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.88  | 4.82  | 4.77  | 4.74  | 4.68  | 4.62  | 4.56  | 4.53  | 4.50  | 4.46  | 4.43  | 4.40  | 4.36  |
| 7                               | 5.99   | 5.14  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.21  | 4.15  | 4.10  | 4.06  | 4.00  | 3.94  | 3.87  | 3.84  | 3.81  | 3.77  | 3.74  | 3.70  | 3.67  |
| 8                               | 5.59   | 4.74  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.79  | 3.73  | 3.68  | 3.64  | 3.57  | 3.51  | 3.44  | 3.41  | 3.38  | 3.34  | 3.30  | 3.27  | 3.23  |
| 9                               | 5.32   | 4.46  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.50  | 3.44  | 3.39  | 3.35  | 3.28  | 3.22  | 3.15  | 3.12  | 3.08  | 3.04  | 3.01  | 2.97  | 2.93  |
| 10                              | 5.12   | 4.26  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.29  | 3.23  | 3.18  | 3.14  | 3.07  | 3.01  | 2.94  | 2.90  | 2.86  | 2.83  | 2.79  | 2.75  | 2.71  |
| 11                              | 4.96   | 4.10  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.14  | 3.07  | 3.02  | 2.98  | 2.91  | 2.85  | 2.77  | 2.74  | 2.70  | 2.66  | 2.62  | 2.58  | 2.54  |
| 12                              | 4.84   | 3.98  | 3.59  | 3.36  | 3.20  | 3.09  | 3.01  | 2.95  | 2.90  | 2.85  | 2.79  | 2.72  | 2.65  | 2.61  | 2.57  | 2.52  | 2.49  | 2.45  | 2.40  |
| 13                              | 4.75   | 3.89  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.91  | 2.85  | 2.80  | 2.75  | 2.69  | 2.62  | 2.54  | 2.51  | 2.47  | 2.43  | 2.38  | 2.34  | 2.30  |
| 14                              | 4.67   | 3.81  | 3.41  | 3.18  | 3.03  | 2.92  | 2.83  | 2.77  | 2.71  | 2.67  | 2.60  | 2.53  | 2.46  | 2.42  | 2.38  | 2.34  | 2.30  | 2.25  | 2.21  |
| 15                              | 4.60   | 3.74  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.76  | 2.70  | 2.65  | 2.60  | 2.53  | 2.46  | 2.39  | 2.35  | 2.31  | 2.27  | 2.22  | 2.18  | 2.13  |
| 16                              | 4.54   | 3.68  | 3.29  | 3.06  | 2.90  | 2.79  | 2.71  | 2.64  | 2.59  | 2.54  | 2.48  | 2.40  | 2.33  | 2.29  | 2.25  | 2.20  | 2.16  | 2.11  | 2.07  |
| 17                              | 4.49   | 3.63  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.66  | 2.59  | 2.54  | 2.49  | 2.42  | 2.35  | 2.28  | 2.24  | 2.19  | 2.15  | 2.11  | 2.06  | 2.01  |
| 18                              | 4.45   | 3.59  | 3.20  | 2.96  | 2.81  | 2.70  | 2.61  | 2.55  | 2.49  | 2.45  | 2.38  | 2.31  | 2.23  | 2.19  | 2.15  | 2.10  | 2.06  | 2.01  | 1.96  |
| 19                              | 4.41   | 3.55  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.58  | 2.51  | 2.46  | 2.41  | 2.34  | 2.27  | 2.19  | 2.15  | 2.11  | 2.06  | 2.02  | 1.97  | 1.92  |
| 20                              | 4.38   | 3.52  | 3.13  | 2.90  | 2.74  | 2.63  | 2.54  | 2.48  | 2.42  | 2.38  | 2.31  | 2.23  | 2.16  | 2.11  | 2.07  | 2.03  | 1.98  | 1.93  | 1.88  |
| 21                              | 4.35   | 3.49  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.51  | 2.45  | 2.39  | 2.35  | 2.28  | 2.20  | 2.12  | 2.08  | 2.04  | 1.99  | 1.95  | 1.90  | 1.84  |
| 22                              | 4.32   | 3.47  | 3.07  | 2.84  | 2.68  | 2.57  | 2.49  | 2.42  | 2.37  | 2.32  | 2.25  | 2.18  | 2.10  | 2.05  | 2.01  | 1.96  | 1.92  | 1.87  | 1.81  |
| 23                              | 4.30   | 3.44  | 3.05  | 2.82  | 2.66  | 2.55  | 2.46  | 2.40  | 2.34  | 2.30  | 2.23  | 2.15  | 2.07  | 2.03  | 1.98  | 1.94  | 1.89  | 1.84  | 1.78  |
| 24                              | 4.28   | 3.42  | 3.03  | 2.80  | 2.64  | 2.53  | 2.44  | 2.37  | 2.32  | 2.27  | 2.20  | 2.13  | 2.05  | 2.01  | 1.96  | 1.91  | 1.86  | 1.81  | 1.76  |
| 25                              | 4.26   | 3.40  | 3.01  | 2.78  | 2.62  | 2.51  | 2.42  | 2.36  | 2.30  | 2.25  | 2.18  | 2.11  | 2.03  | 1.98  | 1.94  | 1.89  | 1.84  | 1.79  | 1.73  |
| 26                              | 4.24   | 3.39  | 2.99  | 2.76  | 2.60  | 2.49  | 2.40  | 2.34  | 2.28  | 2.24  | 2.16  | 2.09  | 2.01  | 1.96  | 1.92  | 1.87  | 1.82  | 1.77  | 1.71  |
| 27                              | 4.23   | 3.37  | 2.98  | 2.74  | 2.59  | 2.47  | 2.39  | 2.32  | 2.27  | 2.22  | 2.15  | 2.07  | 1.99  | 1.95  | 1.90  | 1.85  | 1.80  | 1.75  | 1.69  |
| 28                              | 4.21   | 3.35  | 2.96  | 2.73  | 2.57  | 2.46  | 2.37  | 2.31  | 2.25  | 2.20  | 2.13  | 2.06  | 1.97  | 1.93  | 1.88  | 1.84  | 1.79  | 1.73  | 1.67  |
| 29                              | 4.20   | 3.34  | 2.95  | 2.71  | 2.56  | 2.45  | 2.36  | 2.29  | 2.24  | 2.19  | 2.12  | 2.04  | 1.96  | 1.91  | 1.87  | 1.82  | 1.77  | 1.71  | 1.65  |
| 30                              | 4.18   | 3.33  | 2.93  | 2.70  | 2.55  | 2.43  | 2.35  | 2.28  | 2.22  | 2.18  | 2.10  | 2.03  | 1.94  | 1.90  | 1.85  | 1.81  | 1.75  | 1.70  | 1.64  |
| 40                              | 4.17   | 3.32  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.33  | 2.27  | 2.21  | 2.16  | 2.09  | 2.01  | 1.93  | 1.89  | 1.84  | 1.79  | 1.74  | 1.68  | 1.62  |
| 60                              | 4.08   | 3.23  | 2.84  | 2.61  | 2.45  | 2.34  | 2.25  | 2.18  | 2.12  | 2.08  | 2.00  | 1.92  | 1.84  | 1.79  | 1.74  | 1.69  | 1.64  | 1.58  | 1.51  |
| 120                             | 4.00   | 3.15  | 2.76  | 2.53  | 2.37  | 2.25  | 2.17  | 2.10  | 2.04  | 1.99  | 1.92  | 1.84  | 1.75  | 1.70  | 1.65  | 1.59  | 1.53  | 1.47  | 1.39  |
| Inf.                            | 3.92   | 3.07  | 2.68  | 2.45  | 2.29  | 2.17  | 2.09  | 2.02  | 1.96  | 1.91  | 1.83  | 1.75  | 1.66  | 1.61  | 1.55  | 1.55  | 1.43  | 1.35  | 1.25  |
| Inf.                            | 3.84   | 3.00  | 2.60  | 2.37  | 2.21  | 2.10  | 2.01  | 1.94  | 1.88  | 1.85  | 1.75  | 1.67  | 1.57  | 1.52  | 1.46  | 1.39  | 1.32  | 1.22  | 1.00  |

#### ANEXO n.º 4. Datos experimentales adicionales

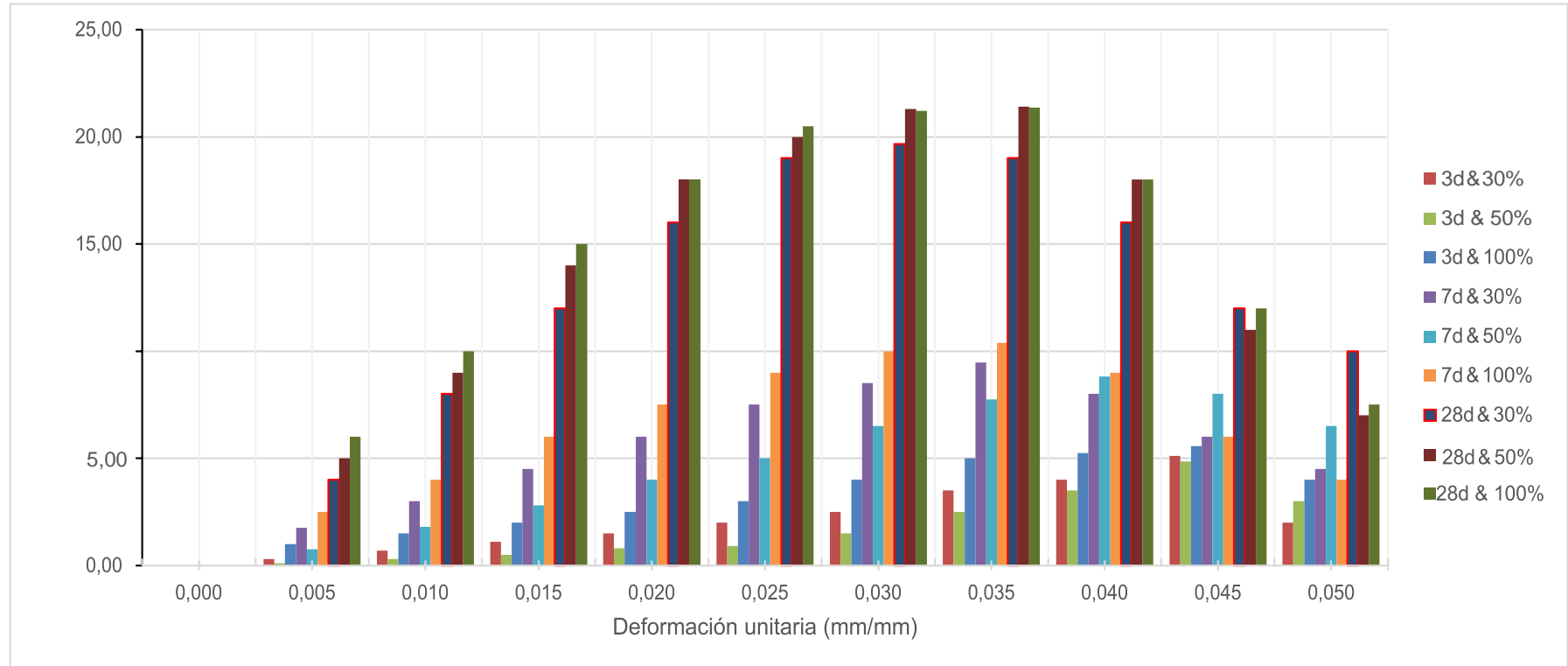
**Tabla A.5**

Datos de resistencia a la compresión en Mpa

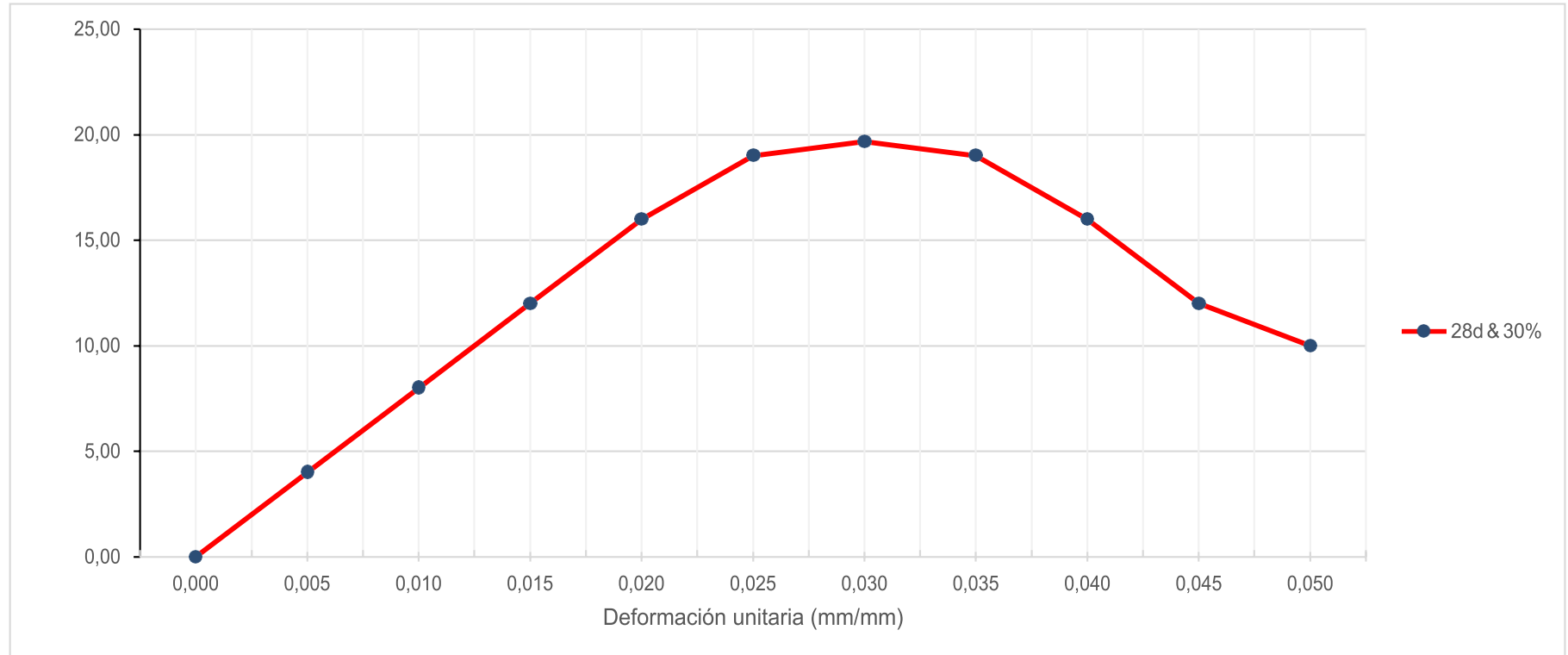
| Deformación<br>(mm/mm) | Resistencia a la tracción (Mpa) |          |           |          |          |           |           |              |            |
|------------------------|---------------------------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|--------------|------------|
|                        | 3d & 30%                        | 3d & 50% | 3d & 100% | 7d & 30% | 7d & 50% | 7d & 100% | 28d & 30% | 28d & 50%    | 28d & 100% |
| 0.000                  | 0.00                            | 0.00     | 0.00      | 0.00     | 0.00     | 0.00      | 0.00      | 0.00         | 0.00       |
| 0.005                  | 0.30                            | 0.10     | 1.00      | 1.75     | 0.75     | 2.50      | 4.00      | 5.00         | 6.00       |
| 0.010                  | 0.70                            | 0.30     | 1.50      | 3.00     | 1.80     | 4.00      | 8.00      | 9.00         | 10.00      |
| 0.015                  | 1.10                            | 0.50     | 2.00      | 4.50     | 2.80     | 6.00      | 12.00     | 14.00        | 15.00      |
| 0.020                  | 1.50                            | 0.80     | 2.50      | 6.00     | 4.00     | 7.50      | 16.00     | 18.00        | 18.00      |
| 0.025                  | 2.00                            | 0.90     | 3.00      | 7.50     | 5.00     | 9.00      | 19.00     | 20.00        | 20.50      |
| 0.030                  | 2.50                            | 1.50     | 4.00      | 8.50     | 6.50     | 10.00     | 19.67     | 21.30        | 21.20      |
| 0.035                  | 3.50                            | 2.50     | 5.00      | 9.47     | 7.75     | 10.38     | 19.00     | <b>21.40</b> | 21.36      |
| 0.040                  | 4.00                            | 3.50     | 5.25      | 8.00     | 8.81     | 9.00      | 16.00     | 18.00        | 18.00      |
| 0.045                  | 5.11                            | 4.86     | 5.56      | 6.00     | 8.00     | 6.00      | 12.00     | 11.00        | 12.00      |
| 0.050                  | 2.00                            | 3.00     | 4.00      | 4.50     | 6.50     | 4.00      | 10.00     | 7.00         | 7.50       |



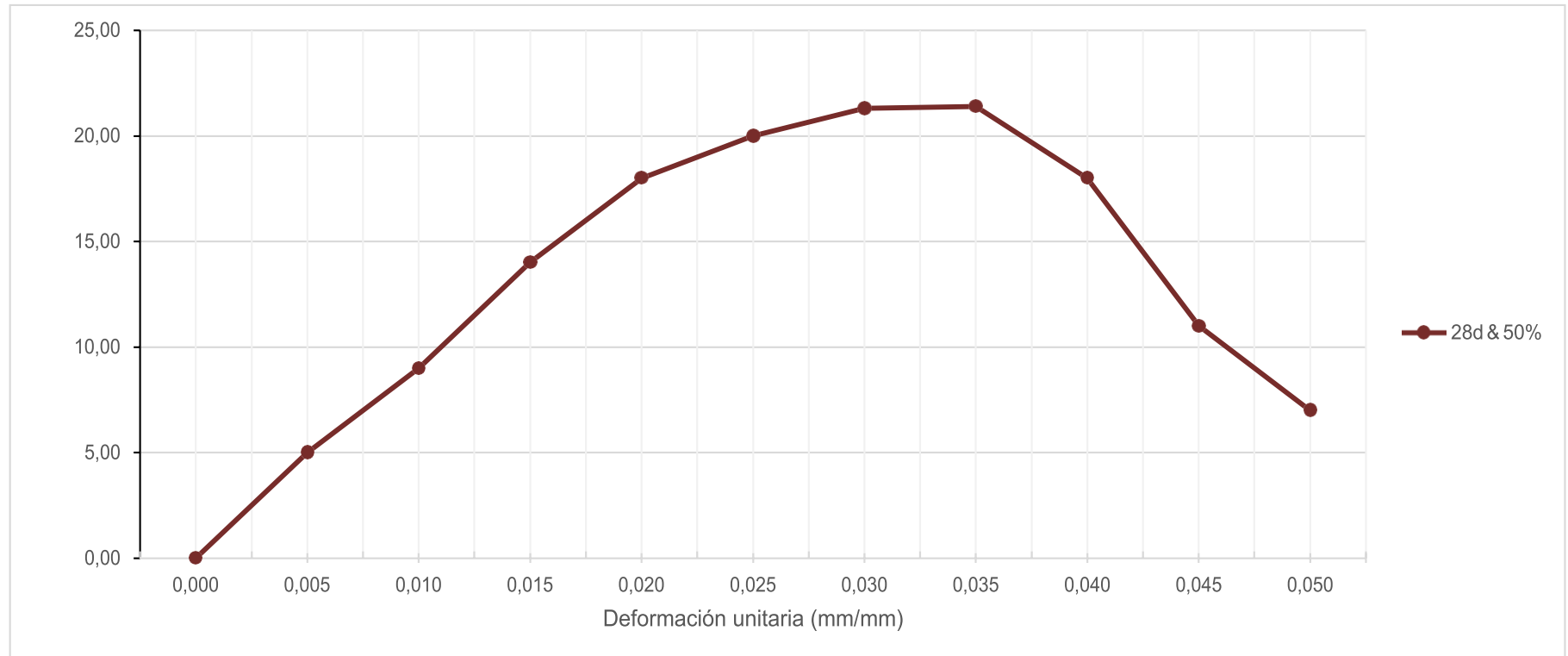
**Figura A.7.** Gráfico de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm)



**Figura A.8.** Gráfico de barras de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm)

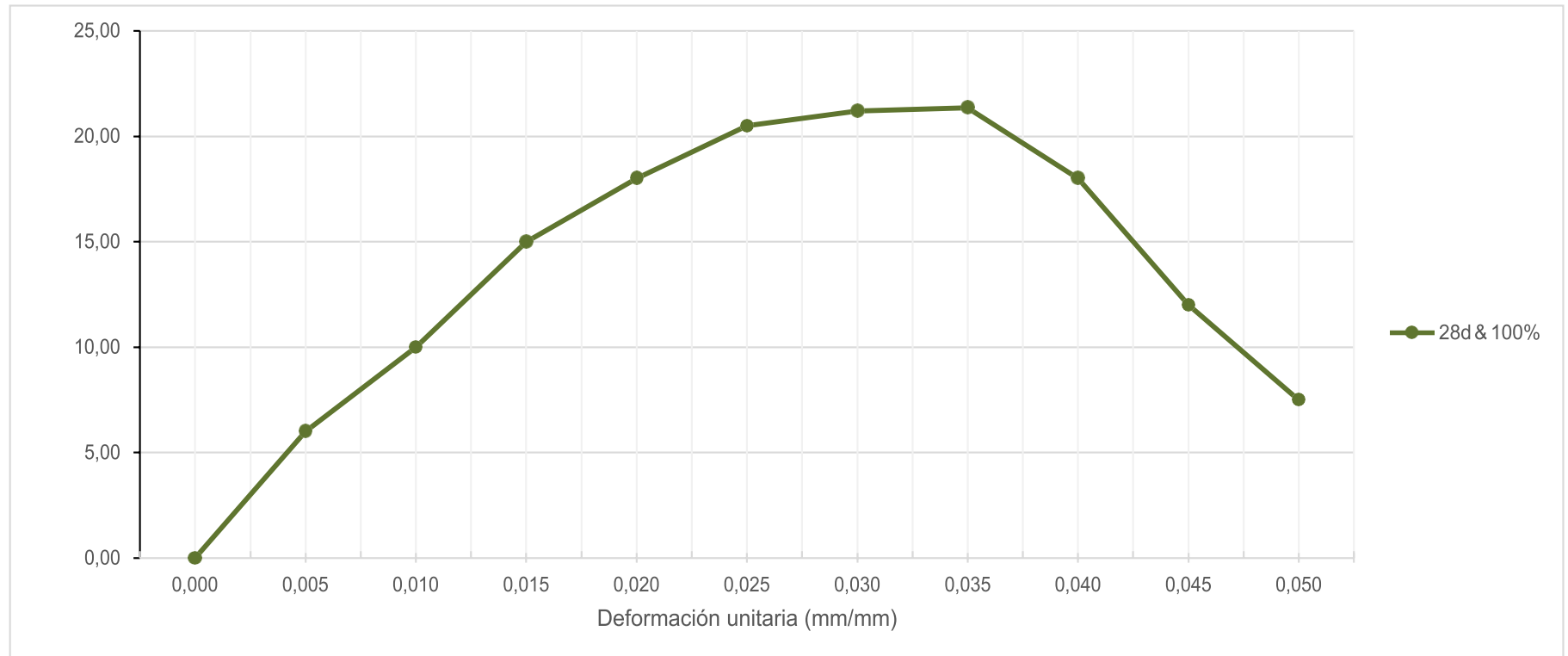


**Figura A.9.** Gráfico de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm) a 28 días y 30% de agregado reciclado



**Figura A.10.** Gráfico de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm) a 28 días y 50% de agregado reciclado



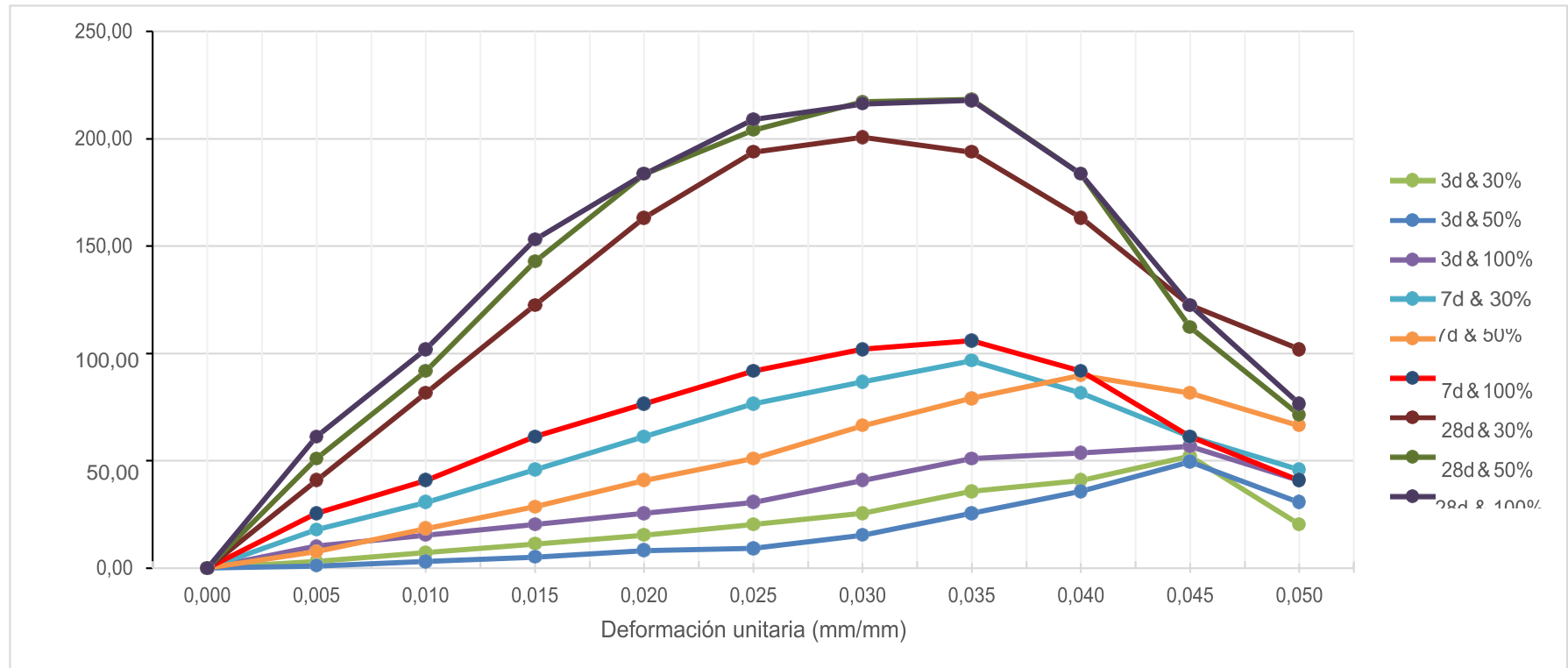


**Figura A.11.** Gráfico de resistencia a la compresión (MPa) vs. Deformación (mm/mm) a 28 días y 100% de agregado reciclado

**Tabla A.6**

*Datos de resistencia a la compresión en kg/cm<sup>2</sup>*

| Deformación<br>(mm/mm) | Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> ) |          |           |          |          |           |           |               |            |
|------------------------|---|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|---------------|------------|
|                        | 3d & 30%  | 3d & 50% | 3d & 100% | 7d & 30% | 7d & 50% | 7d & 100% | 28d & 30% | 28d & 50%     | 28d & 100% |
| 0.000                  | 0.00  | 0.00     | 0.00      | 0.00     | 0.00     | 0.00      | 0.00      | 0.00          | 0.00       |
| 0.005                  | 3.06  | 1.02     | 10.20     | 17.85    | 7.65     | 25.49     | 40.79     | 50.99         | 61.18      |
| 0.010                  | 7.14  | 3.06     | 15.30     | 30.59    | 18.35    | 40.79     | 81.58     | 91.77         | 101.97     |
| 0.015                  | 11.22   | 5.10     | 20.39     | 45.89    | 28.55    | 61.18     | 122.37    | 142.76        | 152.96     |
| 0.020                  | 15.30   | 8.16     | 25.49     | 61.18    | 40.79    | 76.48     | 163.16    | 183.55        | 183.55     |
| 0.025                  | 20.39   | 9.18     | 30.59     | 76.48    | 50.99    | 91.77     | 193.75    | 203.94        | 209.04     |
| 0.030                  | 25.49   | 15.30    | 40.79     | 86.68    | 66.28    | 101.97    | 200.58    | 217.20        | 216.18     |
| 0.035                  | 35.69   | 25.49    | 50.99     | 96.57    | 79.03    | 105.85    | 193.75    | <b>218.22</b> | 217.81     |
| 0.040                  | 40.79   | 35.69    | 53.54     | 81.58    | 89.84    | 91.77     | 163.16    | 183.55        | 183.55     |
| 0.045                  | 52.11   | 49.56    | 56.70     | 61.18    | 81.58    | 61.18     | 122.37    | 112.17        | 122.37     |
| 0.050                  | 20.39   | 30.59    | 40.79     | 45.89    | 66.28    | 40.79     | 101.97    | 71.38         | 76.48      |



**Figura A.12.** Gráfico de resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>) vs. Deformación (mm/mm)

**Tabla A.7**

*Definición operacional de las variables*

| <b>Variable</b>                    | <b>Definición conceptual</b>   | <b>Definición operacional</b>                                  | <b>Dimensión</b> | <b>Indicador</b> |
|------------------------------------|--|--|------------------|------------------|
|                                    | “Tiempo requerido para que un determinado material complete su ciclo de ingreso, permanencia y egreso en un medio” (Cabrera, 2015) | Periodo que la probeta permanece sumergida en agua             | 3                | Días             |
| VI                                 |  |  | 7                | Días             |
| Tiempo de curado                   |  |  | 28               | Días             |
|                                    | “Proporción o relación que hay entre la cantidad de un material en relación a la cantidad total del producto.” (Binti, 2014)       | Cantidad de agregado reciclado mezclado por volumen de mortero | 30               | %                |
| VI                                 |  |  | 50               | %                |
| Dosificación de agregado reciclado |  |  | 100              | %                |
|                                    | “Es la capacidad para soportar una carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo (Topcu & Guncan, 2015)            | Resistencia que opone la probeta a ser fracturada              | Resistencia      | MPa              |
| VD                                 |  |  |                  |                  |
| Resistencia a la compresión        |  |  |                  |                  |