

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA PROVENIENTE DE LA PTAR DEL DISTRITO DE LA ENCAÑADA – CAJAMARCA - 2018”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Segundo Pablito Pinedo Ruiz

Asesor:

Mg. Ing. Gabriel Cachi Cerna

Cajamarca - Perú

2018



DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres por ser los pilares de mi vida, quienes siempre confiaron en mí, por brindarme todo el amor, paciencia y sacrificio, ya que gracias a ellos he logrado mi meta planteada.

A mis hermanos, por sus consejos, sus buenos deseos, su apoyo condicional, por sus ánimos, para alcanzar mi sueño.

A mi cuñado Ing. CARLOS VALENCIA TORRES, por su apoyo durante todo el camino de mi vida universidad y sus sabios consejos para seguir en mejor camino.

Y por último a todos mis demás familiares, amigos y compañeros por ayudarme a que este momento llegara.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, Mg. Ing. GABRIEL CACHI CERNA, por su ayuda invaluable en la organización y revisión permanente de este trabajo.

A mi docente de tesis, Ing. ANITA ELIZABET ALVA SARMIENTO, por su apoyo en la revisión permanente de este trabajo.

Al personal administrativo del laboratorio el Ing. ERICK RAFAEL MUÑOZ BARBOZA y el Señor VICTOR CUZCO MINCHÁN por el interés demostrado en el apoyo en el laboratorio para efectuar el estudio.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	10
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	12
RESUMEN.....	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	48
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	63
1. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.....	63
1.1. Análisis Granulométrico. (ASTM C 136- MTC E 204 -NTP 400.012).....	63
<i>Nota:</i> protocolo de análisis granulométrico de agregado grueso, (ASTM C 136- MTC E 204 -NTP 400.012) Cajamarca: Universidad Privada del Norte.....	63
1.2. Contenido de Humedad (MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127).....	65
1.3. Peso Específico y Absorción.....	67
1.4. Para el Agregado Fino (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021).....	67
1.5. Densidad de campo – método volumétrico (BS1377 – 1990).....	68
<i>Nota:</i> Protocolo de peso unitario de agregado grueso, (BS1377 – 1990). Cajamarca: Universidad Privada del Norte.....	69
<i>Nota:</i> Protocolo de contenido de vacíos. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.....	69
1.6. Ensayo de peso unitario de agregado fino.....	69
<i>Nota:</i> Protocolo de peso unitario del agregado fino. MTC E 203 / ASTM C29 / NTP 400.017 Cajamarca: Universidad Privada del Norte.....	70
<i>Nota:</i> Protocolo de contenido de vacíos. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.....	70
1.7. Ensayo por Lavado del material (MTC E 202 – ASTM C117 – NTP 400.018).....	70
1.8. Laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación inicial- da con registro N° LE-084.....	71

1.9. Ensayos de resistencia a compresión	72
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	81
REFERENCIAS.....	90
ANEXOS.....	92
1.10. Anexo 1 Ensayos con agua potable.....	93
Anexo 02 Diseño de mezclas	157
Anexo 4 Análisis fisicoquímicos de la planta de tratamiento de la Encañada.....	177
Panel fotográfico.....	165
Análisis fisicoquímico de la planta de tratamiento de la Encañada.....	177

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Características y aspectos del concreto.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2 Requisitos que debe de cumplir el agua.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 3 Cantidad de probetas para ensayo a compresión del concreto.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 4 Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 5 Coordenadas UTM de la Cantera Roca Fuerte.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 6 Coordenadas UTM de la Cantera Roca Fuerte.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 7 Tamices para A.G.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 8 Tamices para A.F.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 9 Límites de gradación de agregado fino.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 10 Límites de gradación de agregado Grueso.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 11 Ensayo granulométrico de agregado grueso.</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 12 Ensayo granulometrico de agregado fino.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 13 Ensayo de contenido de humedad de agregado grueso.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 14 Ensayo de contenido de humedad de agregado fino.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 15 Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso.</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 16 Ensayo de peso específico y absorción de agregado fino.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 17 Ensayo de peso unitario de agregado grueso.</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 18 Contenido de vacíos.</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 19 Peso unitario del agregado fino.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 20 Contenido de vacíos.</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 21 Ensayo por lavado de agregado grueso.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 22 Ensayo por lavado de agregado fino.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 23 Resultados del análisis del agua por parte del gobierno Regional.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 24 F’C a los 7 días.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 25 F’C a los 14 días.</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 26 Resumen de carga ultima de los 28 días.....</i>	<i>77</i>

<i>Tabla 27 Resistencia alcanzada a los 07, 14, y 28 días.</i>	79
<i>Tabla 28 Porcentaje de resistencia alcanzada a los 07, 14, y 28 días.</i>	79
<i>Tabla 29 Ensayo resistencia a compresión de PC-01, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	93
<i>Tabla 30 Ensayo resistencia a compresión de PC-02, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	94
<i>Tabla 31 Ensayo resistencia a compresión de PC-03, para un diseño de 210kg/cm².</i>	96
<i>Tabla 32 Ensayo resistencia a compresión de PC-04, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	98
<i>Tabla 33 Ensayo resistencia a compresión de PC-05, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	99
<i>Tabla 34 Ensayo resistencia a compresión de PC-06, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	101
<i>Tabla 35 Ensayo resistencia a compresión de PC-01, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	103
<i>Tabla 36 Ensayo resistencia a compresión de PC-02, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	104
<i>Tabla 37 Ensayo resistencia a compresión de PC-03, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	106
<i>Tabla 38 Ensayo resistencia a compresión de PC-04, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	108
<i>Tabla 39 Ensayo resistencia a compresión de PC-05, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	110
<i>Tabla 40 Ensayo resistencia a compresión de PC-06, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	112
<i>Tabla 41 Ensayo resistencia a compresión de PC-01, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	114
<i>Tabla 42 Ensayo resistencia a compresión de PC-02, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	115
<i>Tabla 43 Ensayo resistencia a compresión de PC-03, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	117
<i>Tabla 44 Ensayo resistencia a compresión de PC-04, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	119
<i>Tabla 45 Ensayo resistencia a compresión de PC-05, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	121
<i>Tabla 46 Ensayo resistencia a compresión de PC-06, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	123
<i>Tabla 47 Ensayo resistencia a compresión de ART-01, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	125
<i>Tabla 48 Ensayo resistencia a compresión de PCART-02, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	127
<i>Tabla 49 Ensayo resistencia a compresión de PCART-03, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	128
<i>Tabla 50 Ensayo resistencia a compresión de PCART-04, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	130
<i>Tabla 51 Ensayo resistencia a compresión de PCART-05, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	131

<i>Tabla 52 Ensayo resistencia a compresión de PCART-06, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 53 Ensayo resistencia a compresión de ART-01, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 54 Ensayo resistencia a compresión de ART-02, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 55 Ensayo resistencia a compresión de ART-03, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 56 Ensayo resistencia a compresión de ART-04, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 57 Ensayo resistencia a compresión de ART-05, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 58 Ensayo resistencia a compresión de ART-06, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 59 Ensayo resistencia a compresión de ART-01, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 60 Ensayo resistencia a compresión de ART-02, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 61 Ensayo resistencia a compresión de ART-03, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 62 Ensayo resistencia a compresión de ART-04, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 63 Ensayo resistencia a compresión de ART-05, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 64 Ensayo resistencia a compresión de ART-06, para un diseño de 210 kg/cm².</i>	<i>154</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Ubicación de la cantera Roca Fuerte.</i>	<i>165</i>
<i>Figura 2 Ubicación de la cantera Roca Fuerte.</i>	<i>165</i>

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Formula 1 Esfuerzo y deformación 93

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1</i>	<i>Material extraído de cantera en distrito Baños del Inca</i>	<i>165</i>
<i>Fotografía 2</i>	<i>Agua extraída de la PTAR del Distrito la Encañada – Polloc.....</i>	<i>166</i>
<i>Fotografía 3</i>	<i>Peso de material húmedo para ensayo de contenido de humedad.</i>	<i>167</i>
<i>Fotografía 4</i>	<i>Colocación de material húmedo en estufa por 24 hrs.</i>	<i>167</i>
<i>Fotografía 5</i>	<i>Tamizado de agregado grueso por las mallas estándar.</i>	<i>168</i>
<i>Fotografía 6</i>	<i>Tamizado de agregado separado por mallas estándar.....</i>	<i>168</i>
<i>Fotografía 7</i>	<i>Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado grueso.....</i>	<i>169</i>
<i>Fotografía 8</i>	<i>Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado grueso.....</i>	<i>169</i>
<i>Fotografía 9</i>	<i>Lavado de agregado para ensayo que pasa por tamiz #200.</i>	<i>170</i>
<i>Fotografía 10</i>	<i>Peso sumergido de la canastilla y el agregado.....</i>	<i>170</i>
<i>Fotografía 11</i>	<i>Ensayo peso específico del agregado fino.</i>	<i>171</i>
<i>Fotografía 12</i>	<i>Planta de tratamiento Encañada- Polloc.....</i>	<i>171</i>
<i>Fotografía 13</i>	<i>Extracción de agua residual tratada.....</i>	<i>172</i>
<i>Fotografía 14</i>	<i>Traslado de agua residual tratada.....</i>	<i>172</i>
<i>Fotografía 15</i>	<i>Agua residual tratada.</i>	<i>173</i>
<i>Fotografía 16</i>	<i>Medición del agua residual tratada.....</i>	<i>173</i>
<i>Fotografía 17</i>	<i>Pesado de agregados.</i>	<i>174</i>
<i>Fotografía 18</i>	<i>Ensayo de asentamiento del concreto fresco</i>	<i>174</i>
<i>Fotografía 19</i>	<i>Elaboración de probetas cilíndricas.....</i>	<i>175</i>
<i>Fotografía 20</i>	<i>Medición de diámetro y altura de probetas cilíndricas.....</i>	<i>175</i>
<i>Fotografía 21</i>	<i>Rotura de probetas cilíndricas junto al laboratorista Víctor Minchan Cuzco.</i>	<i>176</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1 Curva granulométrica de agregado grueso, donde muestra que está dentro del rango.....</i>	<i>64</i>
<i>Gráfico 2 Curva granulométrica de agregado fino, donde muestra que está dentro del rango.....</i>	<i>65</i>
<i>Gráfico 3 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 07 días.</i>	<i>74</i>
<i>Gráfico 4 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 07 días.</i>	<i>74</i>
<i>Gráfico 5 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 14 días.</i>	<i>76</i>
<i>Gráfico 6 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 14 días.</i>	<i>76</i>
<i>Gráfico 7 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 28 días.</i>	<i>78</i>
<i>Gráfico 8 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 28 días.</i>	<i>78</i>
<i>Gráfico 9 Comparación de porcentaje promedio de la resistencia a compresión de concreto a los 28, respecto al diseño de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con una diferencia de 7.21%..</i>	<i>80</i>
<i>Gráfico 10 Esfuerzo VS deformación de PC-01.....</i>	<i>94</i>
<i>Gráfico 11 Esfuerzo VS deformación de PC-02.....</i>	<i>96</i>
<i>Gráfico 12 Esfuerzo VS deformación de PC-03.....</i>	<i>97</i>
<i>Gráfico 13 Esfuerzo VS deformación de PC-04.....</i>	<i>99</i>
<i>Gráfico 14 Esfuerzo VS deformación de PC-05.....</i>	<i>101</i>
<i>Gráfico 15 Esfuerzo VS deformación de PC-06.....</i>	<i>102</i>
<i>Gráfico 16 Esfuerzo VS deformación de PC-01.....</i>	<i>104</i>
<i>Gráfico 17 Esfuerzo VS deformación de PC-02.....</i>	<i>106</i>
<i>Gráfico 18 Esfuerzo VS deformación de PC-03.....</i>	<i>108</i>
<i>Gráfico 19 Esfuerzo VS deformación de PC-04.....</i>	<i>110</i>
<i>Gráfico 20 Esfuerzo VS deformación de PC-05.....</i>	<i>112</i>
<i>Gráfico 21 Esfuerzo VS deformación de PC-06.....</i>	<i>113</i>

Gráfico 22 Esfuerzo VS deformación de PC-01.....	115
Gráfico 23 Esfuerzo VS deformación de PC-02.....	117
Gráfico 24 Esfuerzo VS deformación de PC-03.....	119
Gráfico 25 Esfuerzo VS deformación de PC-04.....	121
Gráfico 26 Esfuerzo VS deformación de PC-05.....	123
Gráfico 27 Esfuerzo VS deformación de PC-06.....	125
Gráfico 28 Esfuerzo VS deformación de PC-01.....	126
Gráfico 29 Esfuerzo VS deformación de PC-02.....	128
Gráfico 30 Esfuerzo VS deformación de PC-03.....	129
Gráfico 31 Esfuerzo VS deformación de PC-04.....	131
Gráfico 32 Esfuerzo VS deformación de PC-05.....	132
Gráfico 33 Esfuerzo VS deformación de PC-06.....	134
Gráfico 34 Esfuerzo VS deformación de PC-01.....	136
Gráfico 35 Esfuerzo VS deformación de PC-02.....	137
Gráfico 36 Esfuerzo VS deformación de PC-03.....	139
Gráfico 37 Esfuerzo VS deformación de PC-04.....	141
Gráfico 38 Esfuerzo VS deformación de PC-05.....	143
Gráfico 39 Esfuerzo VS deformación de PC-06.....	145
Gráfico 40 Esfuerzo VS deformación de PC-01.....	147
Gráfico 41 Esfuerzo VS deformación de PC-02.....	149
Gráfico 42 Esfuerzo VS deformación de PC-03.....	150
Gráfico 43 Esfuerzo VS deformación de PC-04.....	152
Gráfico 44 Esfuerzo VS deformación de PC-05.....	154
Gráfico 45 Esfuerzo VS deformación de PC-06.....	156

RESUMEN

En la presente tesis se investigó la elaboración de una mezcla de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ preparada con agua residual tratada y su uso en la construcción. El agregado grueso y fino los cuales fueron obtenidos de la cantera “Roca Fuerte” cantera de río, con el diseño de mezclas con el método del ACI, para las edades 7, 14 y 28 días de curado. Se seleccionó la PTAR del distrito de la Encañada, la cual fue utilizada para preparar la mezcla de concreto que también fue comparada con una mezcla patrón realizada con agua potable. Los resultados de la calidad del agua residual tratada se encontraron en los límites establecidos por la norma. Luego de realizar los ensayos correspondientes se determinó que el concreto en las edades de 7, 14 y 28 días de curado, adquiere una resistencia promedio de 201.32 kg/cm^2 , 246.24 kg/cm^2 y 272.74 kg/cm^2 . Llegando a la conclusión que la hipótesis se cumple por estar dentro de los parámetros de la Norma Técnica Peruana para elaborar concreto, con una resistencia promedio de $f'c = 240.10 \text{ kg/cm}^2$, por ende, su funcionamiento en la construcción civil es viable por estar por encima del diseño.

Palabras clave: Resistencia, Compresión, Concreto, Agua.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La principal motivación para la presente investigación es usar el agua de la PTAR, empleando una alternativa diferente a la tradicional, utilizando aguas residuales con la finalidad de conocer la resistencia a compresión del concreto y su importancia en la construcción, porque uno de los principales problemas que enfrentan las grandes ciudades es el suministro y distribución de agua potable. Es evidente que la escasez de este líquido está relacionada con el crecimiento de la población, la contaminación de los acuíferos, la extracción de agua en donde no se cumplen los ciclos biológicos naturales, así como el alto costo cuando se suministra de lugares apartados, situación que nos obliga a dar prioridades en el consumo de este recurso vital.

El aprovechamiento de las aguas residuales, previamente tratadas, se viene efectuando desde hace más de 30 años. Dicha actividad se intensificó hasta sumar actualmente 20 las instalaciones de tratamiento ubicadas en diferentes puntos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. La utilización del agua residual tratada tiene como objetivo fundamental sustituir el agua potable en aquellos usos que no requieran alta calidad, (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

A pesar que se encuentra establecido en normas de países como Estados Unidos y Costa Rica la posibilidad de la reutilización del agua residual tratada para la construcción, no existen suficientes estudios que comprueben el comportamiento de dicha agua en esta industria, especialmente en la producción del concreto, la cual es una área muy delicada ya que el concreto debe tener unas propiedades y características especiales para que se pueda emplear en las distintas estructuras sin sufrir daños, (Dieguez, 2011).

En Colombia, la industria de la construcción presenta gran tendencia de crecimiento debido a la edificación de viviendas de interés social, prioritario y privado. Esto representa de igual manera uso de agua potable para mezclas del hormigón requerido.

Al presentarse situaciones en donde el uso de agua potable es limitado, evidencia que la industria de la construcción, tendría que entrar en una competencia con la demanda de agua para el consumo humano, la agricultura, otras industrias, y demás. Dando origen a una problemática que debe ser analizada y buscar posibles soluciones. Se han originado diferentes alternativas, como es el uso de agua lluvia para mezcla de concreto, sin embargo, esta alternativa no es una solución definitiva, (Cámara Colombiana de la construcción CAMACOL, 2014).

Los esfuerzos hacia la reutilización de aguas residuales han ganado últimamente la atención en todo el mundo, tanto en el campo agrícola como en el industrial. En las regiones áridas, como el estado de Huwait, la disponibilidad y calidad del agua plantea un desafío para las autoridades. A pesar de la capacidad de desalinización disponible y los fondos para establecer la infraestructura relacionada, el costo de la desalinización sigue siendo elevado. Ciertamente, los fondos gastados por el gobierno en el tratamiento de aguas residuales a estándares terciarios producen agua de un nivel tan decente. En los últimos años, la atención local se ha centrado en el potencial de varios aspectos de la reutilización de aguas residuales, (Mohammad J. Terro & Ibrahim Al-Ghusain , 2003).

Con el fin de minimizar el impacto negativo de las descargas de aguas residuales, el Poder Ejecutivo promulgó el Decreto Ejecutivo N° 26042-S-MINAE del 14 de abril de 1997, “Reglamento de Vertido y Reusó de Aguas Residuales”, que establece los límites de vertido para las distintas actividades residenciales, comerciales, industriales y de servicios que generan aguas residuales en sus actividades o procesos de producción y que, en la mayoría de los casos, obliga a los distintos generadores al empleo de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, con el fin de cumplir con los límites de vertido establecidos, (El Ministro de Ambiente y Energía, 2005).

Sin embargo, fuentes hídricas enfrentan diferentes problemáticas como la contaminación y la escasez. Este fenómeno se presenta debido al manejo irresponsable de los residuos domésticos e industriales y al abuso de este recurso; por otra parte, la carencia también es debida a los bajos niveles de precipitación o por insuficientes cuerpos de agua. Algunas zonas geográficas presentan escasez económica ya que, a pesar de la existencia de agua, no se cuenta con la infraestructura necesaria para aprovecharla, (Oviedo, 2011).

El reúso de este tipo de aguas es una realidad, como es el caso de México, el trabajo denominado: “Comparación entre concretos elaborados con agua potable y concretos fabricados con agua residual tratada en Azcapotzalco”; se utiliza agua de diferentes PTAR, para evaluar la posibilidad de sustituir el agua potable en la elaboración de concreto, la mayoría de las muestras no presentan efectos negativos en la resistencia a la compresión, por el contrario se obtuvieron incrementos entre el 10% y 40% a los 28 días (Calderón Linares & Burbano Cerón, 2016).

En el Perú, la gestión de las descargas y reusó de aguas residuales de las actividades poblacionales y productivas está sectorizada, se tiene a los Ministerios de Energía y Minas, Producción, Vivienda Construcción y Saneamiento y Agricultura a través de sus Direcciones Generales de Medio Ambiente. Sin embargo, cuando las aguas residuales generadas de los derechos de uso de agua, requieren ser dispuestas a un cuerpo natural de agua ó reusar ya sea con fines agrícolas ó otros fines, se requiere autorización, la cual se otorga bajo el cumplimiento de lo establecido en la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos y la Autoridad competente es la Autoridad Nacional del Agua. Asimismo, es preciso indicar que cuando el reusó es para fines agrícolas se requiere opinión de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud, (Autoridad Nacional del Agua Ministerio de Agricultura, 2010).

Ghusain & Mohammad J. Terro (2001), en la Universidad Kuwait realizaron los estudios en el artículo titulado “Uso de aguas residuales industriales tratadas como mezclas de agua en obras de cemento”. Estos ensayos fueron realizados en el año 2001 por en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Kuwait. Para este ensayo realizaron probetas en forma de cubos con un diseño de mezcla para alcanzar una resistencia a la compresión de 25 MPa (255 kgf/cm²), las muestras se moldearon en cubos de 100 mm y se probaron a las edades de 3 días, 7 días, 21 días, 28 días, 3 meses, 6 meses y 18 meses. Donde realizaron 4 mezclas distintas variando en cada una de ellas el agua de mezclado. El agua utilizada en este trabajo fue: agua potable, agua residual con un tratamiento primario, agua residual con un tratamiento secundario y agua residual con un tratamiento terciario constituido por filtración y desinfección con cloro. Todas estas aguas fueron obtenidas de una planta de tratamiento de aguas

residuales local, la cual cuenta básicamente con un tratamiento de lodos activados con tratamiento terciario de filtración y cloración donde se concluye que los valores de resistencia para los hormigones fabricados con agua residual tratada fueron en realidad inferiores a los valores de los concretos fabricados con al agua potable, también informaron que no se demostró que las aguas residuales tratadas tuvieran efectos adversos sobre el concreto, Sin embargo, las aguas residuales sin tratar redujeron la resistencia a la compresión de 3 y 28 días en un 9%.

Calderón Linares& Burbano Cerón (2016), en su revista realizaron los estudios titulado “Efectos en la resistencia del hormigón simple elaborados con agua residual tratada proveniente de la PTAR Cañaveralejo” En esta investigación se analizó el comportamiento de la resistencia de mezclas de hormigón preparados con agua residual tratada. Se seleccionó la “PTAR Cañaveralejo”; que trata las aguas residuales domesticas provenientes de la ciudad de Cali. Del efluente de la planta se analiza las variaciones de las concentraciones de los contaminantes en el agua, estas a su vez se compararon con los límites permisibles establecidos por las normas ASTM C-94 y NTC 3459; información correspondiente al año 2015 e inicios del 2016. El encofrado, curado y pruebas de resistencia de estos cilindros de hormigón, están bajo los lineamientos de la Norma INVIAS 2012. Los cilindros elaborados con agua residual fueron comparados con cilindros de agua potable proveniente del acueducto “El Tablazo” de la ciudad de Popayán. La resistencia en cilindros realizados con agua residual tratada diluida al 50% con agua potable, alcanzó un 100% de resistencia a los 28 días, respecto a cilindros con agua potable (muestra patrón). Cilindros con un 100% de agua residual tratada obtuvieron resistencias del 90% a los 28 días respecto a cilindros con agua potable donde se concluyó que, las muestras preparadas con partes

iguales de Agua Residual Tratada y Agua Potable, en reposo como sin reposar, presentaron resistencia a los 28 días similar a la alcanzada por los cilindros fabricados con Agua Potable. Esto indica que es viable emplear este tipo de agua residual con estas características, para preparar mezclas de hormigón. Las resistencias obtenidas a los 28 días de los cilindros preparados con el 100% agua residual tratada y agua residual tratada en reposo fueron del 90,2% y 88,9% respectivamente, respecto a la resistencia obtenida con el agua potable.

Reddy Babu, Sudarsana Rao & Ramana Reddy (2007), en su artículo titulado “Uso de aguas residuales industriales tratadas como agua de mezcla en las obras de cemento” La viabilidad de las aguas residuales industriales tratadas como agua de mezcla y el efecto de sus componentes sobre el cemento el mortero fue evaluado experimentalmente. Las muestras de mortero de cemento se moldearon usando agua desionizada, agua corriente, aguas residuales de la industria de la pintura tratada, en las resistencias a la compresión y flexión de quince diferentes tipos de cubos de mortero. Muestra que los cubos de mortero de cemento hechos con usando agua desionizada tienen una resistencia indistinguible a la compresión y resistencia a la flexión de los cubos de mortero hechos con usando agua desionizada. Pero en los cubos de mortero de cemento hechos con aguas residuales de la industria de la pintura tratada, la tasa de aumento de compresión y flexión las fuerzas fueron muy lentas para la edad de hasta 180 días de curado. Después de 180 días, compresivo y flexural donde se concluye no significativamente. No hubo efectos adversos sobre las resistencias a la compresión y flexión resultantes, cuando los cubos de mortero fueron curados en aguas residuales de la industria de la pintura tratada. Cubos de mortero de cemento curados

en su mezcla de metal correspondiente el agua mostró un ligero aumento en las resistencias a la compresión y a la flexión con un aumento en la concentración de metales. Se puede concluir que los iones de metales pesados, presentes en la matriz de cemento, influyen positivamente sus propiedades de ingeniería y estabilidad a largo plazo.

En Venezuela en su tesis titulada “Propiedades físicas del concreto elaborado con agua residual tratada” con el objetivo de evaluar el comportamiento de la mezcla de concreto elaborada con agua residual tratada. Se presentan los resultados obtenidos en los análisis del agua residual tratada (efluente de la planta de tratamiento El Chorrillo) y del agua potable (acueducto), que fueron utilizadas para realizar la mezcla de concreto. Además, se presenta el porcentaje de incremento que se tiene del agua residual respecto al agua potable en cada uno de los parámetros analizados, donde se concluye que, a pesar que el efluente de la Planta de Tratamiento “El Chorrillo” según los parámetros regulados en las diferentes normas se encuentra apto para ser usado como agua de mezclado para la realización del concreto, se presentó una diferencia mayor al 10% en la resistencia a la compresión del concreto realizado con el agua potable. (Diéguez 2011).

Esta investigación es muy importante por el motivo que el recurso hídrico está cada vez más escaso, y tenemos que buscar otras alternativas de solución para el uso de agua en la construcción, en este caso agua de PTAR, ya que este recurso es desviado a los ríos, donde aguas abajo le dan algunas utilidades, pero sin saber si es apto para dicho fin, por lo que se determinara si el agua de PTAR es apta para la construcción civil.

Es importante conocer ciertas definiciones que ayuden al mejor entendimiento sobre el tema a tratar:

- **Concreto.**

El concreto es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia. (Roque, 2012).

- **Características del concreto.**

A manera de síntesis, en la tabla N° 1 se relacionen las principales características de los agregados y los correspondientes aspectos del comportamiento del concreto en que ejercen mayor influencia, tanto para el caso del concreto recién mezclado como ya en estado endurecido. (Roque, 2012).

Tabla 1

Características y aspectos del concreto.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	ASPECTOS INFLUIDOS EN EL CONCRETO	
	CONCRETO FRESCO	CONCRETO ENDURECIDO
Granulometría	Manejabilidad. Requerimiento de agua. Sangrado.	Resistencia mecánica. Cambios volumétricos. Economía.
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables)	Requerimientos de agua. Contracción plástica.	Durabilidad. Resistencia mecánica. Cambios volumétricos.
Densidad (gravedad específica)	Peso unitario.	Peso unitario.
Sanidad	Requerimiento de agua. Pérdida de revenimiento.	Durabilidad. Durabilidad.
Absorción y porosidad	Contracción plástica.	Permeabilidad.

		Resistencia mecánica.
Forma de partículas	Manejabilidad. Requerimiento de agua. Sangrado.	Cambios volumétricos. Economía.
Textura superficial	Manejabilidad. Requerimiento de agua. Segregación. Peso unitario.	Durabilidad. Resistencia al desgaste. Resistencia mecánica. Cambios volumétricos. Peso unitario.
Tamaño máximo. Reactividad con los álcalis.	Requerimiento de agua.	Permeabilidad.
Módulo de elasticidad.		Durabilidad. Módulo de elasticidad. Cambios volumétricos.
Resistencia a la abrasión.		Resistencia a la abrasión. Durabilidad.
Resistencia mecánica (por aplastamiento)		Resistencia mecánica.
Partículas friables y terrones de arcillas.	Contracción plástica.	Resistencia a la abrasión. Durabilidad.
Coefficiente de expansión		Propiedades térmicas.

Nota: (Roque, 2012). Característica de los agregados y propiedades del concreto.

Propiedades del concreto

Propiedades del concreto fresco

Trabajabilidad o manejabilidad.

Es el trabajo interno utilizado en vencer la fricción interna o componentes del concreto para conseguir una compactación adecuada, es decir, la capacidad que tiene

el concreto para ser colocado y compactado apropiadamente sin producir deficiencias de sus propiedades en estado fresco. (Reyes & Rodríguez, 2010).

La cohesión y manejabilidad de las mezclas de concreto son características que contribuyen a evitar la segregación y facilitar el manejo previo y durante su colocación en las cimbras. Consecuentemente, son aspectos del comportamiento del concreto fresco que adquieren relevancia en obras donde se requiere manipular extraordinariamente el concreto, o donde las condiciones de colocación son difíciles y hacen necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad. (Fundación ICA, 2000).

Ensayo de asentamiento

Este ensayo es el más utilizado para medir la manejabilidad del concreto fresco durante la realización de los especímenes testigo, ya que es muy sencillo de realizar y ayuda a controlar el asentamiento y trabajabilidad de la mezcla a realizar con respecto a lo estipulado en el diseño de mezcla. (Reyes & Rodríguez, 2010).

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua. Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras

hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica. (Fundación ICA, 2000).

Segregación

Es considerada una propiedad del concreto fresco, pero se puede considerar también como un aspecto importante de la trabajabilidad al ser definida como una tendencia de separación de las partículas gruesas del mortero del concreto, esto se debe en gran parte a la diferencia de densidades, el tamaño y forma de las partículas, el mal mezclado, el exceso de vibración en la compactación, el arrojar el concreto desde alturas mayores a 1m, para evitar la segregación la ACI – 304, recomienda realizar lo inverso a lo anteriormente descrito. (Reyes & Rodríguez, 2010).

En una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del Agregado Grueso del mortero. Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciendo en los elementos llenado, bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejeras, etc. (Abanto, 2009).

Exudación o sangrado

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les

considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua. Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica. (Fundación ICA, 2000).

Es un tipo de segregación donde el agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto fresco. Este fenómeno es normal en tasas bajas, ya que al ser alta produce debilitamiento en la parte superior del concreto, mayor porosidad, fisuras de retracción, menor resistencia a la abrasión y al ataque de agentes agresivos del ambiente, y como consecuencia genera una disminución en la resistencia de la mezcla. (Reyes & Rodríguez, 2010).

Masa unitaria.

Consiste en llenar tres capas de igual altura las cuales se compactan con una varilla compactadora 25 veces cada una de éstas y a la vez se vibra entre 10 a 15 veces con un martillo de goma para eliminar al máximo las burbujas atrapadas de aire. (Reyes & Rodríguez, 2010).

Contenido de aire.

El aire es atrapado de manera natural durante el proceso de mezclado y en algunos casos el contenido de aire aumenta en consecuencia de una mala colocación o compactación. El alto grado de vacíos puede ocasionar en las mezclas de concreto

una reducción en su resistencia, secciones efectivas de los elementos y mal aspecto visual término arquitectónico. (Reyes & Rodríguez, 2010).

La determinación del contenido de aire incluido de una muestra representativa, tomada en el punto de descarga de la unidad revolvedora. Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión”. La muestra se aceptará con una tolerancia de $\pm 2\%$ del valor requerido. La frecuencia de muestreo debe establecerse previo acuerdo entre el comprador y el productor. (Fundación ICA, 2000).

Contenido de agua y de cemento.

Esta propiedad es determinante para el desempeño del concreto, ya que cuando el concreto está en estado endurecido y presenta variaciones desfavorables en sus propiedades, estas se deban principalmente a un cambio en el contenido de agua, por ello, es importante asegurar la cantidad estipulada en el diseño de mezcla. (Reyes & Rodríguez, 2010).

Propiedades del concreto Endurecido.

Relación agua – cemento.

Es el factor principal que influye en la resistencia del concreto. La relación a/c, afecta la resistencia a la compresión de los concretos con o sin aire incluido. La resistencia en ambos casos disminuye con el aumento de a/c. (Abanto, 2009).

Se describe como la cantidad de agua en masa, sin incluir el agua absorbida por los agregados sobre la cantidad de cemento en masa, es de vital importancia mantener una buena relación, ya que al haber una mayor cantidad de agua que generan poros en la pasta cementante del concreto, este se ve afectado al disminuir su resistencia. (Reyes & Rodríguez, 2010).

Curado del concreto.

La prevención del secado prematuro del concreto es crucial para evitar las fisuras internas y extremas debido al aumento de la temperatura interna del concreto, y así impedir disminuciones de la resistencia del concreto como tal. El curado debe ser por lo menos 7 días donde el concreto se debe mantener en un ambiente totalmente húmedo que conlleve a un secado paulatino y óptimo. (Reyes & Rodríguez, 2010).

El curado del concreto se deberá realizar en todas las superficies libres, incluyendo los bordes de las losas, por un período no inferior a 7 días. Sin embargo, el Supervisor podrá modificar dicho plazo, de acuerdo con los resultados obtenidos sobre muestras del concreto empleado en la construcción del pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Edad del concreto.

Para los concretos convencionales la máxima resistencia se alcanza a los 28 días, después de este tiempo el aumento de la resistencia es muy mínimo. Los concretos considerados de alta y ultra alta resistencia alcanzan su máxima resistencia entre los 56 y 90 días porque el aumento después de los 28 días es considerable, aunque estos

son de gran densidad, impermeabilidad y resistencia, son más propensos al agrietamiento debido a la mayor contracción por fraguado y menor extensibilidad. (Reyes & Rodríguez, 2010).

Resistencia a la tracción

El esfuerzo de tracción de un recubrimiento es una propiedad importante de desempeño que se ha usado en las especificaciones. Este modo operativo sirve como medio para preparar y ensayar uniformemente las superficies recubiertas, y para evaluar y presentar el informe de los resultados. Este modo operativo es aplicable para cualquier aparato portátil que cumpla los requisitos básicos al determinar la resistencia a la tracción de un recubrimiento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Resistencia a la flexión.

Este factor es importante en estructuras de concreto simple, donde estos elementos sometidos a flexión tienen una zona sometida a compresión y otra región donde predomina el esfuerzo a tracción. Este se refiere al módulo de rotura, donde se realizan ensayos en vigas de concreto para determinar el mayor esfuerzo a flexión. (Reyes & Rodríguez, 2010).

Resistencia a cortante.

Esta resistencia es tenida en cuenta por los códigos de diseño estructural, aunque el concreto presente baja resistencia frente al mismo; este tipo de esfuerzos son

importantes al diseñar vigas y zapatas donde se presentan valores superiores a la resistencia del concreto. (Reyes & Rodríguez, 2010).

Componentes del concreto.

Cemento

En general, se llaman conglomerantes hidráulicos aquellos productos que, amasados con el agua, fraguan y endurecen tanto expuestos al aire como sumergidos en agua, por ser estables en tales condiciones los compuestos resultantes de su hidratación. Los conglomerantes hidráulicos más importantes son los cementos. (Montoya, 2000, pág. 1).

Cemento Portland tipo I

El cemento Tipo I, es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I, se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

Su uso se aplica a obras de concreto y de concreto armado en general, estructuras que requieren un rápido desencofrado, concreto en clima frío, productos prefabricados, pavimentos y cimentaciones. (Pacasmayo, 2017).

Los cementos portland se obtienen por molturación conjunta de clínker portland, una cantidad adecuada de regulador de fraguado y, eventualmente, hasta un 5 por 100 de

adiciones. Estas adiciones pueden ser una o varias entre escoria siderúrgica, puzolana natural, cenizas volantes, filler calizo y humo de sílice. (Montoya, 2000).

Principales insumos del cemento Clinker.

Es el insumo o material principal del cemento, por ende, el componente más importante del concreto premezclado. Es obtenido tras la calcinación de la caliza y arcillas en el horno, a temperaturas entre los 1.350 y 1.450°C.

Piedra caliza. Es una roca sedimentaria compuesta principalmente por carbonato de calcio. Este material es extraído de las canteras de Acumulación Tembladera y Calizas Tioyacu para las plantas de Pacasmayo y Rioja respectivamente. Es un insumo principal para la elaboración del clinker y posteriormente, el cemento. (Pacasmayo, 2017).

- **Arcilla.** Este insumo está formado por silicatos de aluminio en un proceso que consiste en la descomposición de minerales de aluminio. En Cementos Pacasmayo se extrae de dos canteras principalmente: Señor de los Milagros de Pacasmayo y Pajonal 2 para las plantas de Pacasmayo y Rioja respectivamente. (Pacasmayo, 2017).
- **Arena.** Es el conjunto de partículas de rocas descompuestas o disgregadas, y está compuesta por distintos elementos dependiendo de la zona en la que se sitúe. En Cementos Pacasmayo, se extrae de la cantera del Señor de los Milagros de Pacasmayo para la planta de Pacasmayo, mientras que para la de Rioja, no se requiere hacerlo ya que los tipos de cemento que produce no la requieren. (Pacasmayo, 2017).

- **Hierro y diatomita.** El hierro es un elemento abundante formado por diversos minerales, principalmente óxidos. La diatomita, por otro lado, es una composición de rocas silíceas y esqueletos fosilizados de las diatomeas (algas microscópicas). Se utilizan en pequeñas cantidades para la producción de cemento, y actualmente se compran a terceros a precios de mercado. (Pacasmayo, 2017)
- **Materiales puzolánicos y otros aditivos.** Estos son minerales silíceos livianos que han sido producidos luego de erupciones volcánicas. Además, también requiere de otros aditivos como yeso en pequeñas cantidades. Cunyac y Fila Larga son las canteras de donde extrae parte de este material puzolánico, para la planta de Pacasmayo y Rioja respectivamente. (Pacasmayo, 2017).

Yeso. Es un mineral compuesto de sulfato de calcio, producido tras la cocción del mineral de yeso y su posterior molienda. Se utiliza en la construcción dada sus propiedades como la resistencia al fuego y el aislamiento térmico.
- **Carbón.** Es una roca sedimentaria con mucha consistencia de carbono, y tiene un uso en la combustión fósil. El carbón de antracita es adquirido a terceros locales, mientras que el carbón bituminoso se importa mayormente de Colombia a precios de mercado. Cementos Pacasmayo almacena dicho material en el puerto Salaverry, a 130 km de la planta en Pacasmayo. (Pacasmayo, 2017).

Tipos de cemento

La empresa fabrica dos tipos de cementos tradicionales:

TIPO I: Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de los otros 4 tipos de cemento. (Abanto, 2009)

TIPO II: Es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación. (Abanto, 2009).

TIPO III: Es el cemento de alta resistencia inicial. El concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cemento tipo 1 o tipo 11. (Abanto, 2009).

TIPO IV: Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación. (Abanto, 2009).

TIPO V: Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar. (Abanto, 2009).

Fraguado y endurecido.

El fraguado es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. La velocidad de fraguado viene limitada por las normas estableciendo un periodo de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual debe producirse el principio y fin del fraguado. Este proceso es controlado por medio del ensayo de la aguja de Vicat, que mide el inicio y fin del fraguado en mediciones de penetraciones cada 15 minutos.

Inicio del Fraguado. Cuando la aguja no penetra más de 25 mm en la pasta. Se recomienda que una vez iniciado el fraguado el cemento ya deba estar totalmente colocado y no debe moverse de su lugar, ya que se originaran fisuras.

Fin del Fraguado. Cuando la aguja no deja marcas y la superficie de la pasta.

Falso Fraguado o endurecimiento prematuro. Se manifiesta por un endurecimiento rápido del hormigón poco después del mezclado. Si este es resultado de la deshidratación del yeso durante el proceso de molido, por lo general desaparecerá con un mezclado adicional. Si es resultado de la interacción cemento aditivo, es posible que se requieran agua y mezclado adicionales para mitigar el problema. (Apaza, 2012).

La fragua es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. Hay dos etapas de fraguado:

- **Fraguado inicial.** Cuando la masa empieza a perder plasticidad;
- **Fraguado final.** Cuando la pasta de cemento deja de ser deformable y se convierte en un bloque rígido. El endurecimiento es el desarrollo lento de la resistencia. (Abanto, 2009).

Finura.

Influye decisivamente en la velocidad de reacciones químicas que tienen lugar durante el fraguado y el principio de este. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento solo se hidratan en una profundidad de 0,01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño, al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte, como se ilustra en la figura. (Apaza, 2012).

Resistencia mecánica.

La velocidad de endurecimiento del cemento depende de las propiedades químicas y físicas del propio cemento y de las condiciones de curado, como son la temperatura y

la humedad. La relación agua/cemento (A/C) influye sobre el valor de la resistencia última, con base en el efecto del agua sobre la porosidad de la pasta.

Una relación A/C elevada produce una pasta de alta porosidad y baja resistencia.

La resistencia es medida a los 3, 7 y 28 días, teniendo estas que cumplir los valores mínimos. (Apaza, 2012).

Para determinar la resistencia a la compresión, se realizó el ensayo de Compresión, en el cual se usan cubos de mortero de 5 cm. por lado, con una relación constante agua/cemento de 0.485, y para los cementos con puzolana se calcula esta relación, según el contenido de puzolana, hasta lograr la consistencia especificada. (Apaza, 2012).

Resistencia de diseño de los materiales

La resistencia en compresión especificada del concreto f'_c a los 28 días no será menor que 21 MPa. (NORMA E.060, 2010).

- **Expansión.**

El ensayo de estabilidad de volumen tiene por objeto manifestar, a corto plazo, el riesgo de expansión tardía que puede tener un cemento fraguado debida a la hidratación del óxido de calcio y/o del óxido de magnesio libres. (Montoya, 2000)

El exceso de cal libre o de magnesia en el cemento da por resultado expansión y la desintegración del hormigón hecho con ese cemento. En el caso de la cal libre, se debe a partículas de esta que no llegan a combinarse con los demás componentes y que van aumentando de volumen hasta explotar. En el caso de la magnesia se debe a

la formación de la periclasa, formada por el óxido de magnesio que se origina cuando el clinker no ha sido enfriado rápidamente al salir del horno. La expansión producida por el magnesio se presenta a largo plazo, produciendo fisuras, por lo cual la Norma limita la cantidad de óxido de magnesio al 6.0%. (Apaza, 2012).

- **Fluidez.**

La fluidez es una medida de la consistencia de la pasta de cemento expresada en términos del incremento del diámetro de un espécimen moldeado por un medio cono, después de sacudir un número específico de veces. (Apaza, 2012).

- **Extracción.** El proceso industrial comienza con la extracción de las materias primas necesarias para la fabricación del cemento, tales como piedra caliza, yeso, óxido de hierro y puzolana. La extracción se realiza en canteras a cielo abierto mediante perforaciones y voladuras controladas, para luego ser transportadas por palas y volquetas a la trituradora. (Apaza, 2012).

- **Agregados.**

Llamados también áridos, son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros. La importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. Por lo anterior, es importante que los agregados tengan buena durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta de cemento. (Abanto, 2009).

- **Agregado Fino.**

Se considera como agregados finos a la arena o piedra natural finalmente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la Norma NTP 400.037. (Abanto, 2009).

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la Norma NTP 400.037. Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100.
- El agregado no deberá retener más del 45 % en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- En general, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites. (Abanto, 2009).

- **Agregado Grueso.**

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple los límites establecidos en la norma NTP 400.037. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc. (Abanto, 2009).

- **Agua.**

El agua es un elemento indispensable en la elaboración de la mezcla de concreto ya que sirve para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades. Esta agua debe cumplir ciertos requisitos para que no sea perjudicial al concreto. Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto. Pero en cualquier caso el agua

a usar en la mezcla debe cumplir con los requisitos de la norma NTP 339.088. (Carrillo, 2003).

El reúso del agua residual tratada y su importancia.

El crecimiento acelerado de la población, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, la desigualdad en la distribución de los recursos hídricos y las sequías periódicas; ha llevado a un mejor aprovechamiento de este recurso. Es por ello que en los últimos años el agua residual ha tomado más importancia ya que su tratamiento y posterior reutilización supone un importante medio para disminuir el uso del agua potable en actividades que no requieran este tipo de agua. (Hernández, 1995).

El reúso en el mundo y sus principales usos.

Los inicios de la reutilización de las aguas residuales tuvieron lugar en los estados de Arizona y California de Estados Unidos a principios de los años 20, para el área de la agricultura. Pero es a partir de 1965 que se impulsa de manera decisiva el reciclaje y el reúso de las aguas residuales. Arreguín, Moeller, Escalante, & Rivas, (1997).

Reutilización de las aguas residuales dentro de la industria de la construcción.

Como se pudo observar anteriormente una de las áreas que recomienda la EPA para la reutilización del agua residual es la industria de la construcción, específicamente para ser utilizada en:

- Compactación de suelos.

- Control del polvo.
- Lavado de materiales.
- Producción de concreto.

Usos del agua.

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como forma de curado de las estructuras recién construidas.

Aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos. Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime la segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas. (Fundación ICA, 2000).

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilizó y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aun en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto. (Fundación ICA, 2000).

Una práctica bastante común consiste en utilizar el agua potable para fabricar concretos sin ninguna verificación previa, suponiendo que toda agua que es potable también es apropiada para elaborar concretos; sin embargo, hay ocasiones en que esta presunción no se cumple, porque hay aguas potables aderezadas con nitratos o con pequeñas cantidades de azúcares que no afectan su potabilidad, pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación de concretos. En todo caso, la consideración contraria pudiera ser más conveniente, es decir, que el agua para la elaboración de concreto no necesariamente requiere ser potable, aunque sí debe satisfacer determinados requisitos mínimos de calidad. (Fundación ICA, 2000).

El agua de mezclado.

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características fisicoquímicas y sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto. Se recomienda que el agua para la mezcla de concreto o mortero sea potable y que no tenga un sabor pronunciado, para garantizar así el comportamiento adecuado de la estructura. Sin embargo, aun dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas altas concentraciones de sales, cítricos o azúcares entre otros, que pueden ser perjudiciales para el concreto. (Fundación ICA, 2000).

Refiriéndose a las características fisicoquímicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las

sustancias e impurezas cuya presencia es relativamente frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etc. Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es en que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como son grasas, aceites, azúcares y ácidos, por ejemplo. La presencia de algunas de estas sustancias, que por lo demás no es común, debe tomarse como un síntoma de contaminación que requiere eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplear el agua. (Fundación ICA, 2000).

En la tabla 2 se reproducen los límites especificados en dichas normas, para las sales e impurezas que con mayor frecuencia se hallan presentes en las aguas que no son potables, a fin de que no se excedan en el agua que se utilice para la elaboración de

Notas:

- Las aguas que excedan los límites señalados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrán emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados, u otros orígenes, no excede dichos límites.
- El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración sea inferior a 2, de acuerdo con el método de la NOM C-88.
- Cuando se use cloruro de calcio como aditivo acelerante, la cantidad de éste deberá tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de esta tabla. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser, de preferencia, potable. Se podrán utilizar aguas no potables sólo si: (NORMA E.060, 2010).

- Están limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo o elementos embebidos. (NORMA E.060, 2010).
- La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basa en ensayos en los que se ha utilizado agua de la fuente elegida. (NORMA E.060, 2010).
- Los cubos de mortero para ensayos, hechos con agua no potable, deben tener resistencias a los 7 y 28 días, de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. La comparación de los ensayos de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezclado, preparados y ensayados de acuerdo con la NTP 334.051. (NORMA E.060, 2010).

Algunos efectos por la presencia de sustancias e impurezas en el agua

El carbonato de sodio, puede causar muy rápidos fraguados. Los bicarbonatos pueden también acelerar o retardar el fraguado. En altas concentraciones, estas sales pueden reducir la resistencia del concreto. Cuando la suma de estas sales exceda de 1,000 ppm, deben efectuarse los ensayos sobre sus efectos en los tiempos de fraguado y relación de resistencia a 28 días. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

Concentraciones de 20,000 ppm de cloruro de sodio son generalmente tolerables en concretos que estarán secos y con bajo potencial de reacciones corrosivas durante su

vida útil. Por el contrario, el agua usada en concretos pre esforzados no se deben presentar concentraciones de ion cloro superiores a 500 ppm. Para el caso de concretos de aluminio embebidos o galvanizados, u otros concretos expuestos a humedad ambiente, el agua no debe presentar concentraciones superiores a 1,000 ppm del ion cloro. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

El agua de mezclado que contenga hasta 10,000 ppm de sulfato de sodio puede ser tolerada para su uso. Si los sulfatos se presentan como SO_4 , su cantidad está limitada a 3,000 ppm. Las concentraciones de sulfato de magnesio deben ser menores de 25,000 ppm. Las sales de manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo en el agua de mezclado pueden causar reducciones significativas en su resistencia y grandes variaciones en sus tiempos de fraguado. Otras sales activas como yodatos, fosfatos, arsenatos y boratos de sodio afectan el desarrollo de la resistencia en concentraciones superiores a 10 por ciento del peso del cemento. Generalmente, concentraciones de estas sales de hasta 500 ppm pueden ser tolerables para el agua de mezclado. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

El valor de ph (potencial de hidrógeno) es índice de una intensidad que, por debajo de 7, indica acidez, y por encima de 7, indica alcalinidad. Sin embargo, algunas normas tales como la del cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos estipulan un valor de ph entre 6 y 8. Las aguas ácidas con valores de ph por debajo de 3 pueden crear problemas de manejo, y deben ser evitadas en lo posible. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

Aguas con concentraciones de hidróxido de sodio de 0.5 por ciento por peso de cemento (6,000 a 10,000 ppm) no afectan la resistencia o los fraguados. Sin embargo, concentraciones superiores pueden reducir la resistencia del concreto o mortero.

El hidróxido de potasio en concentraciones por encima de 1.2 por ciento de peso del cemento (18,000 a 24,000 ppm) tiene pequeños efectos sobre el desarrollo de la resistencia de algunos cementos, y en otros la puede reducir sustancialmente. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

Cerca de 2,000 ppm de partículas de arcilla o limos suspendidos en el agua de mezclado se pueden tolerar. Cantidades más altas pueden no afectar la resistencia, pero sí influir en otras propiedades del concreto. Varias clases de aceite están ocasionalmente presentes en el agua de mezclado. El aceite mineral (petróleo) por sí solo, tiene menos efectos sobre el desarrollo de resistencia del concreto que los aceites minerales o vegetales. Sin embargo, el aceite mineral en concentraciones superiores a 2 por ciento de peso del cemento puede reducir la resistencia del concreto en 20 por ciento o más. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

En el agua tratada deben cuidarse principalmente los contenidos de sulfatos, cloruros y álcalis, ya que, en concentraciones superiores a las establecidas, su reacción con los componentes del cemento y los agregados puede ser muy agresiva. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

Agua Residual tratada

Las Aguas Residuales son conducidas a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) donde se realiza la remoción de los contaminantes, a través de

métodos biológicos o fisicoquímicos. La salida (efluente) del sistema de tratamiento es conocida como Aguas Residuales tratadas. (Vázquez, González, Rocha, & Flores, 2001).

Requisitos que debe de cumplir el agua

El agua a emplearse en la preparación del concreto, deberá ser limpia u estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. (Roque, 2012).

Si se tuviera dudas de la calidad del agua a emplearse en la preparación de una mezcla de concreto, será necesario realizar un análisis químico de esta, para comparar los resultados con los valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto que a continuación indicamos. (Roque, 2012).

Tabla 2

Requisitos que debe de cumplir el agua.

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MAXIMO ADMISIBLE
CLORUROS	300 ppm
SULFATOS	300 ppm
SALES DE MAGNESIO	150 ppm
SALES SOLUBLES	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	1500 ppm
MATERIA ORGÁNICA	10 ppm

Nota: (Roque, 2012). Requisitos con la que debe cumplir el agua para ser utilizada para concreto.

Plantas de tratamiento de aguas residuales.

Diagnóstico situacional del tratamiento de aguas residuales en las EPS.

Según (Méndez & Marchán, 2008), La SUNASS, en ejercicio de su función supervisora y fiscalizadora de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), cuenta con un inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales al 2007, su estado de operación y mantenimiento y la calidad del servicio que prestan. Esa información ha sido recopilada en las inspecciones de campo que los ingenieros especialistas en supervisión y fiscalización de la SUNASS han llevado a cabo en las empresas reguladas e información complementaria remitida por las EPS en el año 2007.

Principales causas, según. (Méndez & Marchán, 2008).

- Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú.
- Acción parcial y desarticulada de las organizaciones del sector.
- Insuficientes recursos destinados a la operación y mantenimiento de las PTAR.
- Déficit de financiamiento para el tratamiento de las aguas residuales.

Principales consecuencias:

- Incumplimiento de los objetivos de calidad de las PTAR.
- Bajo volumen de aguas residuales tratadas.

El desarrollo amplio de estas causas del problema y sus consecuencias se efectúa en los subsiguientes numerales. (Méndez & Marchán, 2008).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto elaborada con agua residual tratada proveniente de la PTAR del distrito de la Encañada – Cajamarca - 2018?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto elaborada con agua residual tratada, proveniente de la PTAR del distrito de la Encañada – Cajamarca?

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la variación de resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua residual tratada, para el uso en la construcción civil.
- Analizar el agua de la PTAR y determinar si es apta para el uso de concreto.
- Evaluar la posibilidad de sustituir el agua potable por agua residual tratada en la resistencia a la compresión del concreto.
- Comparar si la resistencia del concreto se modifica cuando se utiliza agua residual tratada.
- Fabricar probetas $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con agua potable y agua con agua residual tratada para determinar su resistencia a la compresión a edades 7, 14 y 28 días.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua residual cumple con los requerimientos de la norma técnica peruana.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Variables

Variable dependiente

Resistencia a compresión del concreto.

Variable independiente

Agua residual tratada.

2.2. Tipo de investigación

Experimental. Por cuanto se realiza el estudio de resistencia a compresión de probetas elaboradas con agua residual tratada, siendo comparadas con la muestra patrón elaboradas con agua potable. Esta investigación es de tipo aplicada y según el diseño de investigación es de tipo experimental.

2.3. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.3.1. Población

Por ser una investigación experimental, la población y la muestra serán la misma, estará constituida por todas las probetas diseñadas.

2.3.2. Muestra (muestreo o selección).

El tipo de muestreo es no probabilístico por conveniencia.

Se utilizó: Probetas de concreto:

Tabla 3

Cantidad de probetas para ensayo a compresión del concreto.

Slump 3 a 4”	Agua Residual	
	Agua potable	Tratada
7 días	6 probetas	6 probetas
14 días	6 probetas	6 probetas
28 días	6 probetas	6 probetas

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de números de ensayos a realizar, por lo tanto, es el número de muestra.

Por lo tanto, se tiene una muestra de 36 probetas, la que significa que será el número de ensayos a realizar.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

2.4.1. Para recolección de datos.

Esta investigación se realizó a través de ensayos y pruebas en el laboratorio de concreto de UPN Cajamarca, ensayos de granulometría, contenido de humedad, Ensayo de Peso Unitario, Peso específico, absorción, Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado grueso y fino, ensayo de compresión.

La información que se obtuvo en laboratorio, se procesó en gabinete en tablas y cuadros de Microsoft Excel, para tener un mejor entendimiento del procedimiento (Ver Tabla N° 4).

2.4.2. Procedimiento.

Tabla 4

Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos.

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
----------	--------------	---

<p>Conjunto de instrumentos para la realización de ensayos</p>	<p>Fichas de recolección de datos de ensayos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos en Laboratorio • Contenido de humedad • MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127 • Densidad de Campo – Método Volumétrico (BS1377 – 1990) • Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos • (MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012) • Peso Específico y Absorción de Agregados Fino • (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021) • Resistencia a la Compresión de Testigos Cilíndricos • Resistencia a Compresión
--	---	--

Nota: Protocolos de ensayos de agregados. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Para la recolección de datos se utilizó fichas, en donde se anotaron los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados.

2.4.3. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos.

Cantera.

La extracción del material se realizó con palana por el tesista, Una vez realizado ese proceso se procedió a realizar el cuarteo respectivo del material in situ para posteriormente ser llevado al campus UPN-C y hacer el ingreso al laboratorio para realizar su respectivo estudio.

El transporte de material se colocó en sacos cubiertos por bolsas para no alterar su humedad y evitar que se produzca alguna contaminación de la muestra, finalmente fue llevado al campus UPN-C para realizar los ensayos ya mencionados anteriormente.

Ubicación de Cantera

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajamarca

Distrito: Baños del Inca

Cantera: Roca Fuerte.

Tabla 5

Coordenadas UTM de la Cantera Roca Fuerte.

Este	Norte
779631.238	9207569.894

Nota: Esta tabla muestra las coordenadas de la ubicación de la cantera “Roca Fuerte” cantera de río.

Agua Residual Tratada.

La extracción de agua residual tratada se recolecto de la planta de tratamiento del distrito la Encañada, un ves que se deposita en in situ para posteriormente ser llevado al campus UPN-C y hacer el ingreso al laboratorio y así se realizó su respectivo estudio, y el resto se llevó al lugar donde se realizó el curado, con las mismas características con las que fueron elaboradas.

El transporte del agua se colocó en baldes para evitar que se produzca alguna contaminación.

Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR).

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajamarca

Distrito: La Encañada

Caserío: Polloc.

Tabla 6

Coordenadas UTM de la PTAR.

Este	Norte
775341.001	9211539.621

Nota: Esta tabla muestra las coordenadas de la ubicación de la PTAR, en el distrito de la Encañada.

2.4.4. Procedimiento de ensayos de agregados.

Ensayos de agregados

Ensayo Granulométrico (MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012):

Este ensayo se aplicó para determinar la gradación de materiales propuestos para su uso como agregados o los que están siendo utilizados como tales. Los resultados serán utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos que exige la especificación técnica de la obra y proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de agregados. El ensayo consiste en separar a través de una serie de tamices, una muestra de agregado seco y de masa conocida. Los tamices van progresivamente

de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de partículas.

Tabla 7

Tamices para A.G.

N°	Abertura (mm)
1 ½”	37.5
1”	25
¾”	19
½”	12.7
3/8”	9.5
N° 4	4.75

Nota: Norma (MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012). Muestra el tamiz para agregado grueso.

Tabla 8

Tamices para A.F.

Tamiz	Abertura del tamiz
3/8”	9.5
N° 4	4.75
N°8	2.36
N°16	1.18
N°30	0.6
N°50	0.3
N°100	0.15

Nota: Norma (MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012). Muestra el tamiz para agregado fino.

Se utiliza los siguientes usos granulométricos:

Tabla 9

Límites de gradación de agregado fino

Tamiz	Abertura del tamiz	Límite superior (%)	Límite inferior (%)
3/8”	9.5	100	100
N° 4	4.75	100	95
N°8	2.36	100	80
N°16	1.18	85	50
N°30	0.6	60	25
N°50	0.3	30	5
N°100	0.15	10	0

Nota: Norma NTP (MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012). Esta tabla muestra los Límites de gradación de agregado fino.

Tabla 10

Límites de gradación de agregado Grueso

Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Límite superior (%)	Límite inferior (%)
1”	25	100	90
¾”	19	85	40
½”	12.7	40	10
3/8”	9.5	15	0
N° 4	4.75	5	0

Nota: Norma (MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012). Esta tabla muestra los Límites de gradación de agregado grueso.

Materiales.

- Muestra seca a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La muestra se obtuvo por medio de cuarteo. El agregado estuvo completamente mezclado y tuvo humedad suficiente para evitar segregación y pérdida de finos.
- Agregado Fino, las muestras de agregado fino para el análisis granulométrico, después de secadas, se pesó 300gr.
- Agregado Grueso, las muestras de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secadas, tenían aproximadamente los siguientes pesos:

Equipos

- Balanza con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra.
- Tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material a ensayar.
- Estufa capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento

- Se seco la muestra a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se selecciono tamices adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar, se colocó los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura.
- Ese efectuó la operación de tamizado manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un tiempo adecuado.
- Se limito la cantidad de material en un tamiz con el objetivo que todas las partículas puedan alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante el tamizado.

- Se continuo con el tamizado por un periodo suficiente, de tal manera que al final no más del 1% de la masa del residuo sobre uno de los tamices, paso a través de él durante 1 min de tamizado manual.
- Se determino la masa de cada incremento de medida sobre una balanza. La masa total de material luego del tamizado fue verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0.3%, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.

Ensayo de Contenido de Humedad (MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127)

El contenido de humedad de un material se usó para expresar las relaciones de fase del aire, agua y sólidos en un volumen de material dado. Como es posible obtener la humedad en casi todos los tipos de muestra, se utiliza con frecuencia para completar los diagramas de fase.

En un suelo fino (cohesivo), la consistencia depende de su humedad. La humedad de un suelo, junto con sus límites líquido y plástico se usa para expresar su consistencia relativa o índices de liquidez.

Material

- Muestra alterada extraída del estrato en estudio.

Equipo

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa con control de temperaturas.
- Recipiente o Tara.

Procedimiento

- Identificación del recipiente (A)
- Se peso el recipiente o tara (B).
- Se peso la muestra húmeda en el recipiente o tara ©.
- Se secar la muestra en la estufa durante 24 horas a 105°C.
- Se peso la muestra seca en el recipiente o tara (D).
- Se determino el peso del agua (E) = C - B.
- Se determino el peso del suelo seco (F) = D - B
- Se determino el contenido de humedad (G) = (E / F) * 100

$$(W\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

- w = contenido de humedad expresado en %.
- Ww = peso del agua existente en la masa de suelo.
- Ws = peso de las partículas sólidas.
- Se determino el promedio del contenido de humedad (H).

Ensayo de Peso Unitario (MTC E203 – ASTM C29 – NTP 400.017).

Este ensayo cubre la determinación del peso unitario suelto o compactado y el cálculo de vacíos en el agregado fino, grueso o en una mezcla de ambos, basados en la misma determinación. Este método se utilizó para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto.

Equipo

- Balanza con aproximación a 0.05 kg y con exactitud de 0.1% del peso de la muestra
- Varilla compactadora de acero cilíndrica y punta semiesférica.
- Moldes de medida, cilíndricos y metálicos.
- Pala o cucharón metálico de mano.

Procedimiento para agregado grueso y fino.

Método del Apisonado (T.M.N menor a 1 ½”) – Peso Unitario Compactado

El agregado se colocó en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo; cada una de las capas se niveló con la mano y se apisonó con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en cada capa, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Al apisonar la primera, se evitó que la varilla golpee el fondo del recipiente, al apisonar las capas superiores, se aplicó la fuerza necesaria para que la varilla solamente atravesara la respectiva capa.

Una vez colmado el recipiente, se enrasó la superficie con la varilla, usándola como regla, y se determinó el peso del recipiente lleno en kilogramos.

Método de llenado con cucharón de mano (Peso Unitario del agregado suelto).

Se llenó el recipiente por medio de una herramienta (pala o cucharón de mano), de modo que el agregado se descargó de una altura no mayor de 50 mm, por encima del borde hasta colmarlo, el agregado sobrante se eliminó con una regla.

- Se determinó el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso del recipiente y se registran los pesos con una aproximación de 0.05 kg.

Peso específico y absorción:

Este ensayo se aplicó para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores en el cálculo y corrección de diseños de mezclas.

Agregado grueso (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021).

Materiales y equipos.

- Muestra de agregado grueso.
- Balanza.
- Franela.
- Taras.
- Canastilla metálica.
- Tanque con agua.

Procedimiento

- Se seco la muestra a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, se ventilo en lugar fresco a temperatura ambiente hasta que el agregado fue enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto. Se sumergió el agregado en agua a una temperatura ambiente por 24 horas.
- Cuando los valores de peso específico y la absorción se usaron en proporcionamiento de mezclas de concreto en los cuales los agregados fueron usados en condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante fue eliminado y si las superficies de las partículas de la muestra van a

ser mantenidas continuamente húmedas antes del ensayo, el remojo de 24 horas puede ser eliminado.

- Se removió la muestra del agua y se hizo rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda partícula de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Se seco separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturado superficialmente seca.
- Después de pesar, se colocó de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determinó su peso en agua a una temperatura entre $23\text{ °C} \pm 1.7\text{ °C}$.
- Se seco la muestra hasta peso constante a una temperatura de $100\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente.

Agregado fino (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021)

Materiales y equipos

- Muestra de agregado fino.
- Molde de cono truncado
- Apisonador.
- Balanza.
- Taras.
- 1 Fiola de 1000 ml.
- Agua.

Procedimiento

- Se seleccionó la muestra de agregado grueso.
- Se remojó el agregado durante 24 horas en agua.
- Luego de 24 horas que se dejó secar a intemperie a temperatura ambiente para que éste se encuentre en estado saturado superficialmente seco (SSS).
- Después se comprobó si la muestra estaba en estado de las SSS, realizando así un ensayo en un pequeño cono metálico truncado con un apisonador, el cono metálico fue colocado con su diámetro mayor debajo, luego se introduce el agregado hasta rebasar el cono luego fue compactada con 25 golpes, luego se enraso y finalmente el conito es levantado para así comprobar si el agregado está o no en estado saturado superficialmente seco.
- Después se pesó una tara en donde se colocó el agregado.
- Luego se pesó la muestra en estado de las SSS (500 gr) con la tara.
- Luego pasamos a pesar la fiola, para después llenar de agua hasta los 1000 ml y pesamos, obteniendo así el peso de la fiola más el agua.
- Después se vació un poco del agua que se encuentra en la fiola para así introducir el agregado fino (500 gr).
- Luego se agito la fiola que contiene al agregado aproximadamente durante 20 minutos.
- Después del tiempo transcurrido se llenó la fiola con agua hasta los 1000 ml y pesamos.
- Colocamos el material que se encuentre en la fiola en una tara y lo colocamos en el horno durante 24 horas.
- Luego de 24 horas sacamos el material seco y lo pesamos.

Obtención del agua residual tratada.

Análisis químico del agua de las plantas de tratamiento y del agua potable
Para la fabricación del concreto, se realizaron pruebas químicas al agua en el laboratorio de calidad de agua del Gobierno Regional de Cajamarca, el cual está acreditado DIRESA.

Procedimiento de recolección de agua para los análisis requeridos.

Se extrajo una muestra de la planta de tratamiento de aguas residuales de Polloc La Encañada, donde se recolecto en envases que fueron recogidos del Gobierno Regional, para luego hacer el siguiente procedimiento.

- Se precedió al enjuague dos veces con el agua que se recolecto.
- Se procedió a envasar el agua en los recipientes.
- Se coloco 20 gotas de HNO_3 a uno de los recipientes por instrucciones del personal de laboratorio
- De igual manera 20 gotas de H_2SO_4 a otro recipiente.
- A dos recipientes de agua no se añadió ningún químico por instrucciones de personal del laboratorio.
- Se entrego la muestra al personal de laboratorio para el análisis respectivo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

1. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

1.1. Análisis Granulométrico. (ASTM C 136- MTC E 204 -NTP 400.012)

Tabla 11

Ensayo granulométrico de agregado grueso.

Muestra: 8000 gr

N°	Tamiz (pulg) (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenid o (%)	% Retenido acumulado (%)	% Pasante acumulado (%)	Husos Granulométrico (Depende TMN, Revisar Norma ASTM C33)	
						Límite Superio	Límite Inferior
1	1 ½"	38.1	0	0	100.00	100	100
2	1"	25	0	0.00	100.00	95	100
3	¾"	19	3712.2	19.73	53.59		
4	½"	12.	2778.2	16.18	18.86	25	60
5	⅜"	9.5	1161.1	15.61	4.34		
6	N° 4	4.75	321.1	21.35	0.32	0	10
7	Bandeja	-	25.7	16.28	89.15	0	5

Nota: protocolo de análisis granulométrico de agregado grueso, (ASTM C 136- MTC E 204 -NTP 400.012) Cajamarca: Universidad Privada del Norte.



Gráfico 1 Curva granulométrica de agregado grueso, donde muestra que está dentro del rango.

Tabla 12

Ensayo granulométrico de agregado fino.

Muestra: 1500 gr.

N° (pulg)	Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido (%)	%Retenido acumulado (%)	%Pasante acumulado (%)	Husos granulométricos (según norma ASTM C33)	
						Límite inferior	Límite Superior
1	N° 4	4.75	0	0.00	0.00	100.00	95 100
2	N° 8	2.36	295.9	19.73	19.73	80.27	80 100
3	N° 16	1.18	242.7	16.18	35.91	64.09	50 85
4	N° 30	0.6	234.2	15.61	51.52	48.48	25 60
5	N° 50	0.3	320.2	21.35	72.87	27.13	10 30
6	N° 100	0.15	244.2	16.28	89.15	10.85	2 10

7	N° 200	0.07	90.1	6.01	95.15	4.85	0	3
8	Bandeja	0	71.6	4.77	99.93	0.07	-	-

Nota: Protocolo de análisis granulométrico de agregado fino, Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

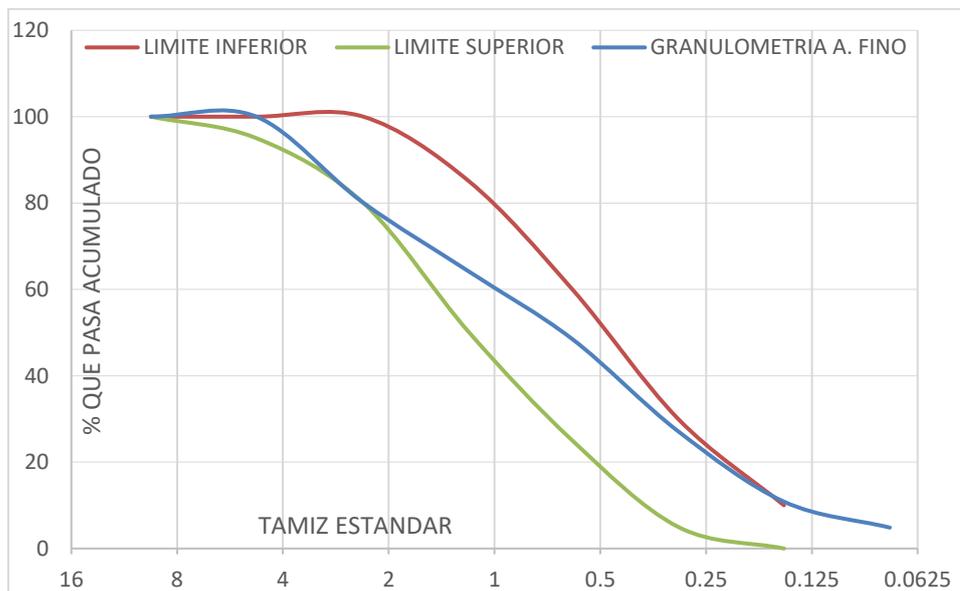


Gráfico 2 Curva granulométrica de agregado fino, donde muestra que está dentro del rango.

1.2. Contenido de Humedad (MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127).

Tabla 13

Ensayo de contenido de humedad de agregado grueso.

ID	Descripción	Und.	T-1	T-2	T-3
A	Identificación del recipiente o Tara				
B	Peso del Recipiente	gr	85.70	81.10	80.20
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	1212.50	1089.20	939.90
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	1190.30	1065.20	918.80

E	Peso del suelo húmedo (W _w) C - B	gr	1126.80	1008.10	859.70
F	Peso Suelo Seco (W _s) D - B	gr	1104.60	984.10	838.60
W%	Porcentaje de humedad (E / F) * 100	%	2.010	2.439	2.516
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		2.322	

Nota: Protocolo de contenido de humedad agregado grueso, (MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127). Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Tabla 14

Ensayo de contenido de humedad de agregado fino.

ID	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3
A	Identificación del recipiente o Tara				
B	Peso del Recipiente	gr	39.00	39.00	38.80
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	342.40	396.50	401.60
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	321.10	371.60	376.70
E	Peso del suelo húmedo (W _w) C - B	gr	303.40	357.50	362.80
F	Peso Suelo Seco (W _s) D - B	gr	282.10	332.60	337.90
W%	Porcentaje de humedad (E / F) * 100	%	7.55	7.49	7.37
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		7.47	

Nota: Protocolo de contenido de humedad, agregado fino, (MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127). Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

1.3. Peso Específico y Absorción

1.3.1. Para el Agregado Grueso (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021).

Tabla 15

Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso.

	Descripción	Und.	T1
A	Peso Saturado Superficialmente Seco del suelo en aire	gr	3081.80
B	Peso Saturado Superficialmente Seco del suelo en agua	gr	1833.30
C	Volumen de masa + volumen de vacío, C = A – B	gr	1248.50
D	Peso seco del suelo (en estufa a 105°C ± 5°C)	gr	3005.34
E	Volumen de masa, E = C – (A – D)	cm ³	1172.0
F	Peso específico bulk (base seca), F = D / C	gr/cm ³	2.407
G	Peso específico (base saturada), G = A / C	gr/cm ³	2.468
H	Peso específico aparente (base seca), H = D / E	gr/cm ³	2.564
I	Absorción, K = ((A – D) / D) * 100	%	2.544

Nota: Protocolo de peso específico y absorción de agregado grueso, (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

1.4. Para el Agregado Fino (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021).

Tabla 16

Ensayo de peso específico y absorción de agregado fino.

ID	Descripción	Und.	1
			500.00
A	Peso al aire de la muestra desecada.	gr.	
			1279.39
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua.	gr.	

C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	gr.	1579.38
			484.60
S	Peso de la Muestra Saturada Superficie Seca	gr.	
	Peso específico aparente (Seco)		2.71
E	P. e. a(seco)= $A/B+S-C$	gr./cm ³	
	Peso específico aparente (SSS)		2.62
F	P. e. a(SSS)= $S/B+S-C$	gr./cm ³	
	Peso específico nominal (Seco)		2.50
G	P. e. a(seco)= $A/B+A-C$	gr./cm ³	
	Absorción		3.18
H	Abs(%)= $(S-A/A) * 100\%$	(%)	

Nota: Protocolo de peso específico y absorción de agregado fino, (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

1.5. Densidad de campo – método volumétrico (BS1377 – 1990).

Tabla 17

Ensayo de peso unitario de agregado grueso.

ID	Descripción	Und	Agregado grueso			Resultado
			Tamaño máx. nominal	^{3/4} "	Volumen molde	
						0.0137
A	Peso del Molde + AG Compactado	kg	27.72	27.62	27.60	27.64
B	Peso del molde	kg	5.83	5.83	5.83	5.83
C	Peso del AG Compactado, C = A – B	kg	21.89	21.79	21.77	21.82

D	Peso unitario compactado $D = C / \text{Vol. Molde}$	m^3	1602.87	1595.55	1594.09	1597.50
E	Peso del Molde + AG Suelto	kg	26.46	26.33	26.25	26.35
F	Peso del AG Suelto, $F = E - B$	kg	20.64	20.51	20.42	20.52
G	Peso unitario suelto, $G = F / \text{Vol. Molde}$	m^3	1510.98	1501.46	1495.23	1502.56

Nota: Protocolo de peso unitario de agregado grueso, (BS1377 – 1990). Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Tabla 18

Contenido de vacíos.

	PVSS	PVSC
M = peso unitario del agregado en kg/m^3	2.41	2.41
S = peso específico de la masa (base seca) en kg/m^3	1502.56	1597.50
W = densidad del agua en kg/m^3	1000	1000
Porcentaje de vacíos (%)	37.58	33.64

Nota: Protocolo de contenido de vacíos. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

1.6. Ensayo de peso unitario de agregado fino.

Tabla 19

Peso unitario del agregado fino.

	Agregado fino	Tamaño máx. nominal	2.69	Volumen molde	0.0091	
ID	Descripción	Und.	1	2	3	Resultado
A	Peso del Molde + AF Compactado	kg	21.36	21.22	21.42	21.33

B	Peso del molde	kg	4.79	4.79	4.79	4.79
C	Peso del AF Compactado, $C = A - B$	kg	16.57	16.43	16.63	16.65
D	Peso unitario compactado $D = C / \text{Vol. Molde}$	m ³	1818.76	1803.39	1825.34	1815.83
E	Peso del Molde + AF Suelto	kg	19.83	19.66	19.54	19.68
F	Peso del AF Suelto, $F = E -$	kg	15.04	14.87	14.75	14.89
G	Peso unitario suelto, $G =$ $F / \text{Vol. Molde}$	m ³	1650.27	1631.94	1619.21	1633.81

Nota: Protocolo de peso unitario del agregado fino. MTC E 203 / ASTM C29 / NTP 400.017 Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Tabla 20

Contenido de vacíos.

	PVSS	PVSC
M = peso unitario del agregado en kg/m ³	2.47	2.50
S = peso específico de la masa (base seca) en kg/m ³	1633.81	1815.83
W = densidad del agua en kg/m ³	1000	1000
Porcentaje de vacíos (%)	33.81	27.36

Nota: Protocolo de contenido de vacíos. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

1.7. Ensayo por Lavado del material (MTC E 202 – ASTM C117 – NTP 400.018).

Tabla 21

Ensayo por lavado de agregado grueso.

Peso de tara	321.1
Peso de muestra seca + tara	5321.1
A = masa original seca de la muestra ensayada (gr)	5000
B = masa seca de la muestra de ensayo del lavado(gr)	4958.8
C = porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz N°200 (%)	0.824

Nota: Protocolo de lavado de agregado grueso. (MTC E 202 – ASTM C117 – NTP 400.018). Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Tabla 22

Ensayo por lavado de agregado fino.

Cantidad de material fino que pasa por el tamiz n°200 por lavado			
ID	Descripción	Und.	T- 1
A	Peso de la muestra original seca	gr	500.00
B	Peso de la muestra lavada y seca	gr	482.30
C	Material que pasa el tamiz N° 200	gr	17.70
D	% que pasa el tamiz N° 200 por lavado	%	3.54

Nota: Protocolo de lavado de agregado fino. (MTC E 202 – ASTM C117 – NTP 400.018). Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

1.8. Laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación inicial- da con registro N° LE-084.

Tabla 23

Resultados del análisis del agua por parte del gobierno Regional.

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
Magnesio (Mg)	mg/L	0.018	4.019
Cloruro (Cl -)	mg/L	0.065	65.26
Sulfato (SO4 =)	mg/L	0.07	17.50
° pH a 25°C	pH	NA	7.70
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2.5	472
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	38
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	220.7

Nota: Tabla de resultados del agua residual tratada. Gobierno Regional.

Tabla 24

Resumen de propiedades del agregado fino

AGREGADO FINO:	
Peso específico de masa:	2.42 gr/cm ³
Peso unitario Suelto seco:	1.63 gr/cm ³
Peso unitario Suelto Compactado:	1.82 gr/cm ³
Humedad natural:	7.47 %
Absorción:	3.18 %
Módulo de finura	2.69
Partículas < #200:	2.69 %

Nota: Tabla resumen de propiedades de agregado fino.

Tabla 25

Resumen de propiedades del agregado Grueso

AGREGADO GRUESO:		
Tamaño máximo nominal:	0.75	"
Peso específico de masa:	2.407	gr/cm ³
Peso unitario Suelto seco:	1.50	gr/cm ³
Peso unitario Suelto Compactado:	1.60	gr/cm ³
Humedad natural:	2.32	%
Absorción:	2.54	%
Módulo de finura	3.23	%

Nota: Tabla resumen de propiedades de agregado Grueso.

1.9. Ensayos de resistencia a compresión

1.9.1. Resumen de carga ultima de los 7 días.

F’C de 210

DISEÑO. Kg/cm²

Tabla 26

Resumen de carga ultima a los 7 días.

	Carga ultima	Carga ultima	
	A. Potable	A. Residual	Diseño
	208.52	203.75	kg/cm ²
	214.87	202.38	kg/cm ²
	221.97	205.78	kg/cm ²
	229.46	199.76	kg/cm ²
	235.79	201.05	kg/cm ²
	211.04	195.21	kg/cm ²
Promedio	220.27	201.32	kg/cm ²
Porcentaje		91.40	%
Diferencia		18.95	kg/cm ²

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo promedio, porcentaje entre agua potable con respecto al agua residual tratada y la diferencia de resistencia a compresión a los 07 días.

Tabla 27

Resumen estadístico de media varianza y desviación estándar.

	Agua Potable	Agua Residual	Unidad
Media	220.275	201.321	kg/cm ²
Varianza	116.124	13.352	
Desviación estándar	10.776	3.654	kg/cm ²

Nota: Esta tabla muestra la media, varianza y desviación estándar a los 07 días.

Comparación de la resistencia a la compresión

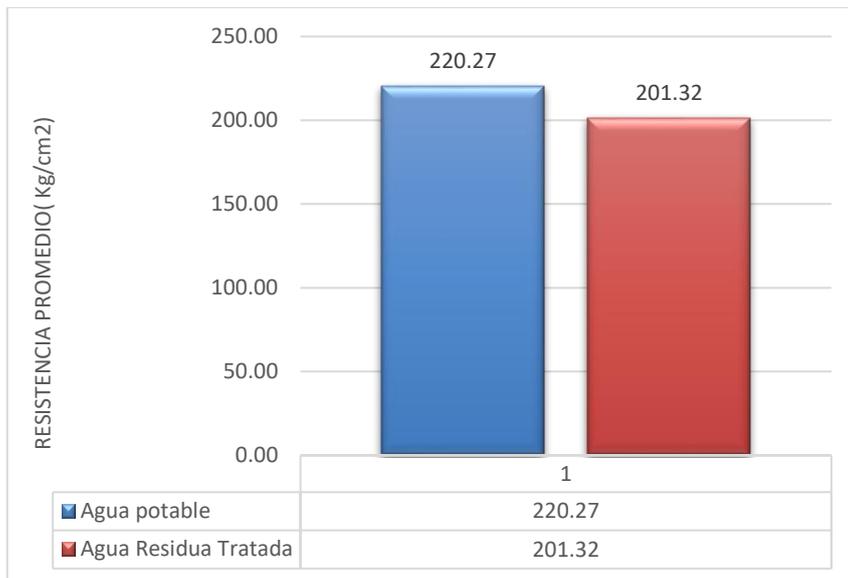


Gráfico 3 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 07 días.

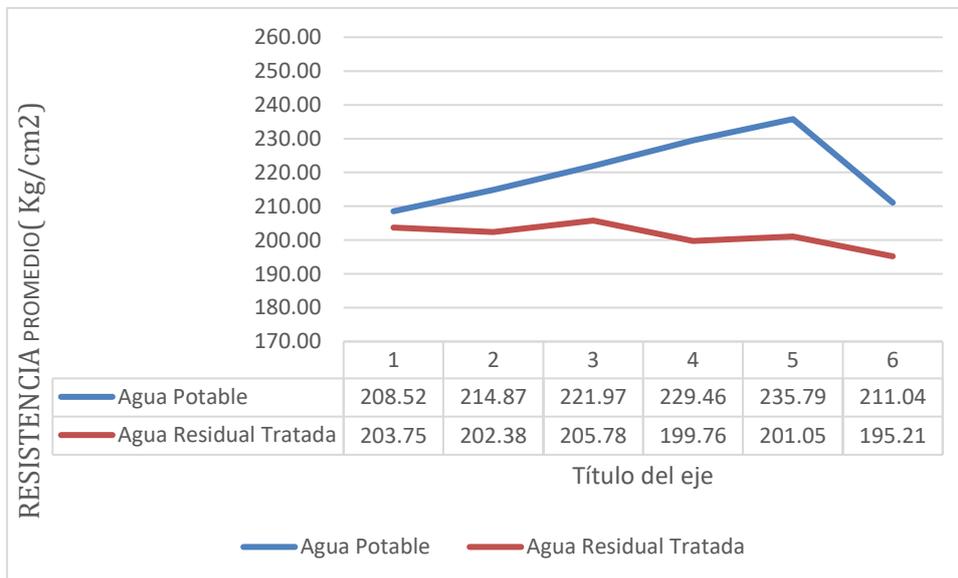


Gráfico 4 Comparación de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 07 días.

1.9.2. Resumen de carga ultima de los 14 días.

Tabla 28

Resumen de carga ultima a los 14 días.

	Carga ultima A. Potable	Carga ultima A. Residual	Diseño
	267.51	269.73	kg/cm ²
	244.01	186.05	kg/cm ²
	279.94	266.46	kg/cm ²
	243.37	272.72	kg/cm ²
	270.42	261.20	kg/cm ²
	256.10	221.26	kg/cm ²
Promedio	260.23	246.24	kg/cm ²
Porcentaje		94.62	%
Diferencia		13.99	kg/cm ²

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo promedio, porcentaje entre agua potable con respecto al agua residual tratada y la diferencia de resistencia a compresión a los 14 días.

Tabla 29

Resumen estadístico de media varianza y desviación estándar.

	Agua Potable	Agua Residual	Unidad
Media	260.225	246.237	kg/cm ²
Varianza	221.930	1226.596	kg/cm ²
Desviación estándar	14.897	35.023	kg/cm ²

Nota: Esta tabla muestra la media, varianza y desviación estándar a los 14 días.

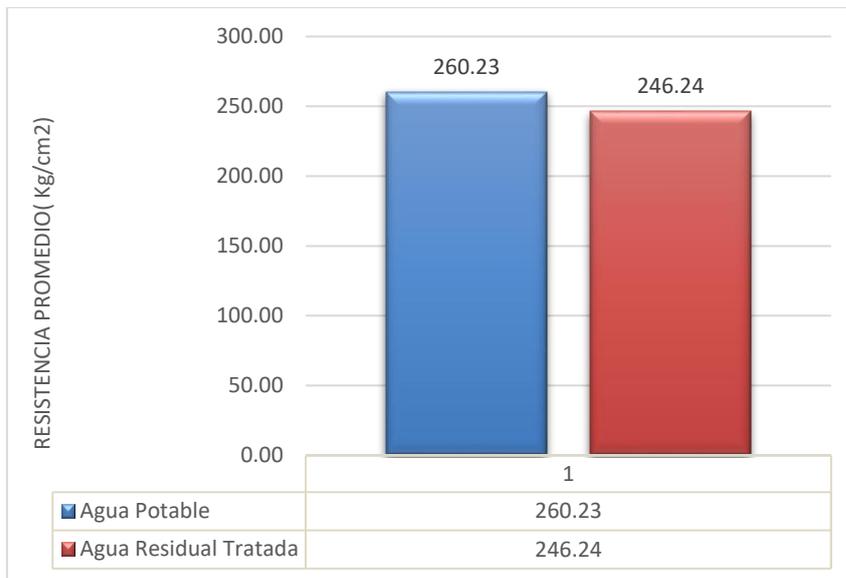


Gráfico 5 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 14 días.

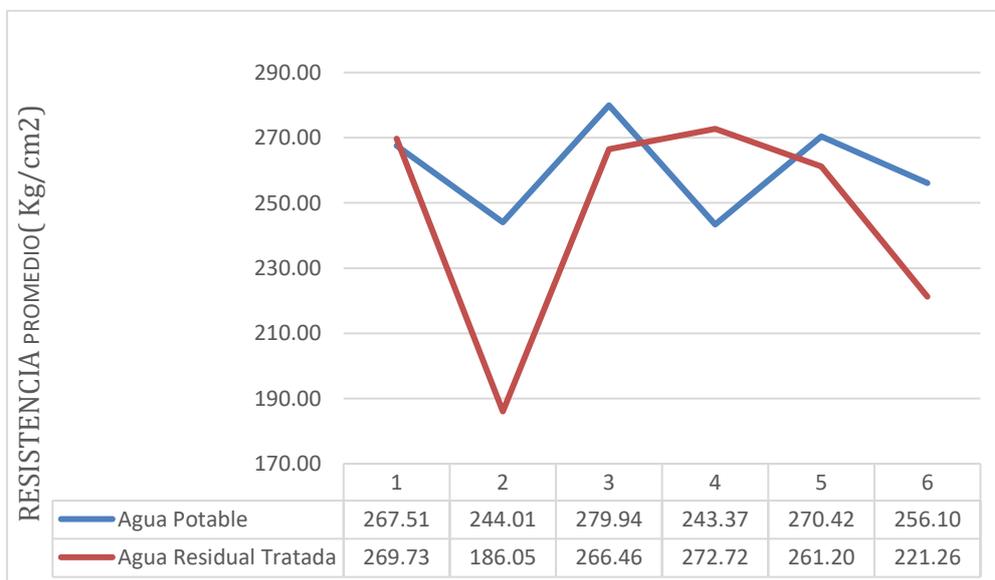


Gráfico 6 Comparación de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 14 días.

1.9.3. Resumen de carga ultima de los 28 días.

Tabla 30

Resumen de carga ultima de los 28 días.

	Carga ultima		Diseño
	A. Potable	A. Residual	
	299.51	259.03	kg/cm ²
	296.30	289.21	kg/cm ²
	292.77	232.42	kg/cm ²
	272.20	253.51	kg/cm ²
	283.61	301.87	kg/cm ²
	283.00	300.44	kg/cm ²
Promedio	287.90	272.74	kg/cm ²
Porcentaje		94.74	%
Diferencia		15.15	kg/cm ²

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo promedio, porcentaje entre agua potable con respecto al agua residual tratada y la diferencia de resistencia a compresión a los 28 días.

Tabla 31

Resumen estadístico de media varianza y desviación estándar.

	Agua Potable	Agua Residual	Unidad
Media	287.898	272.744	kg/cm ²
Varianza	103.614	814.059	
Desviación estándar	10.179	28.532	kg/cm ²

Nota: Esta tabla muestra la media, varianza y desviación estándar a los 28 días.

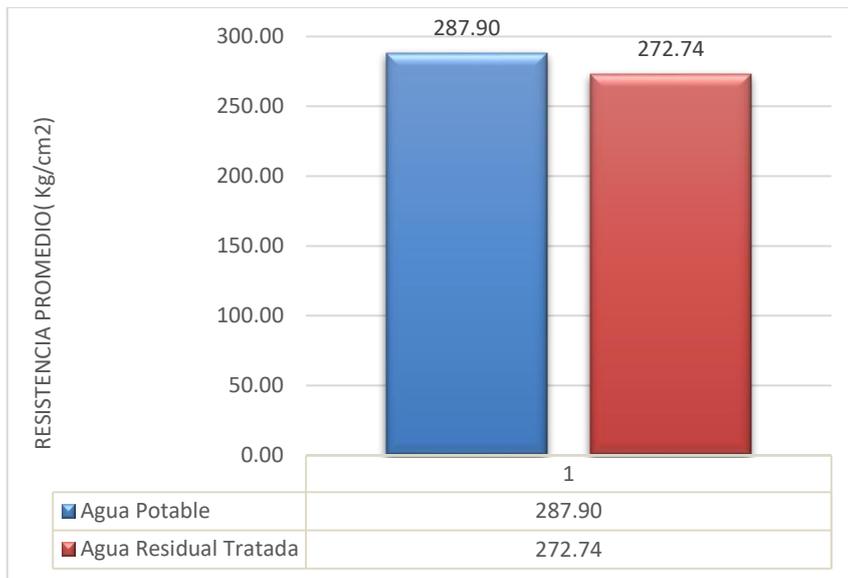


Gráfico 7 Comparación del promedio de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 28 días.

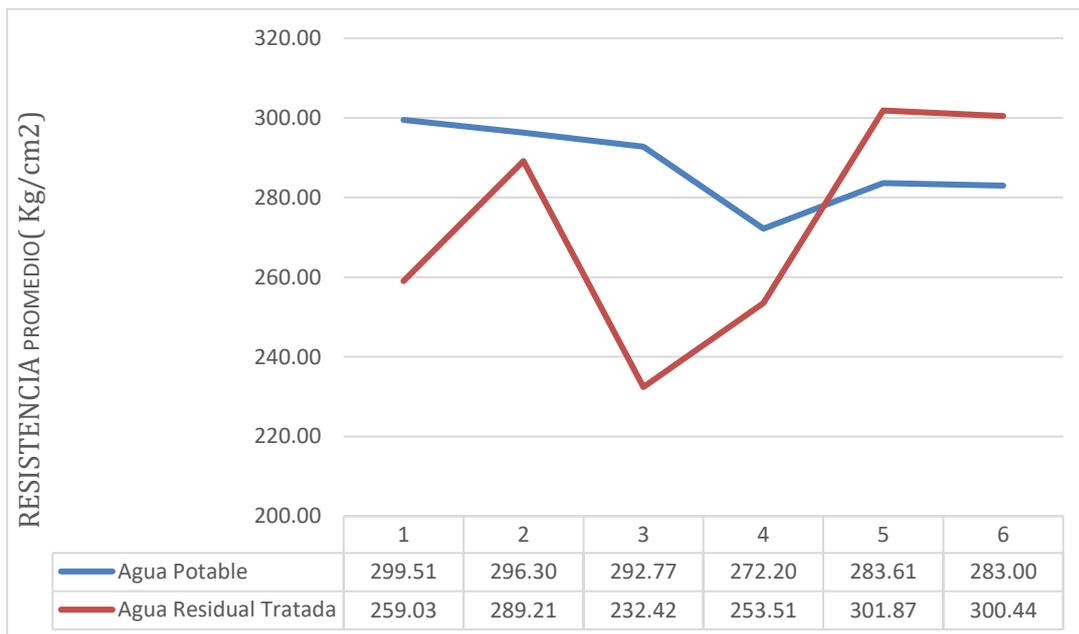


Gráfico 8 Comparación de la resistencia a compresión de concreto patrón y agua residual tratada a los 28 días.

1.9.4. Resumen promedio alcanzada.

Tabla 32

Resistencia promedio alcanzada a los 07, 14, y 28 días.

Tipo de agua	Resistencia alcanzada			unidad
	Resistencia a compresión			
	07 días	14 días	28 días	
A. Potable	220.27	260.23	287.90	kg/cm ²
A. Residual tratada	201.32	246.24	272.74	kg/cm ²
Diferencia	18.95	13.99	15.15	kg/cm ²

Nota: Esta tabla muestra el promedio de resistencia a compresión entre: muestra patrón y agua residual tratada a los 07, 14 y 28 días.

1.9.5. Resumen de porcentaje de resistencia alcanzada.

Tabla 33

Porcentaje de resistencia alcanzada a los 07, 14, y 28 días, respecto al diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Tipo de agua	% de resistencia alcanzada			unidad
	Resistencia a compresión			
	07 días	14 días	28 días	
A. Potable	104.98	123.92	137.09	%
A. Residual tratada	95.87	117.26	129.88	%
Diferencia	9.11	6.66	7.21	%

Nota: Esta tabla muestra el promedio de resistencia a compresión en porcentaje (%) entre: muestra patrón y agua residual tratada a los 07, 14 y 28 días.

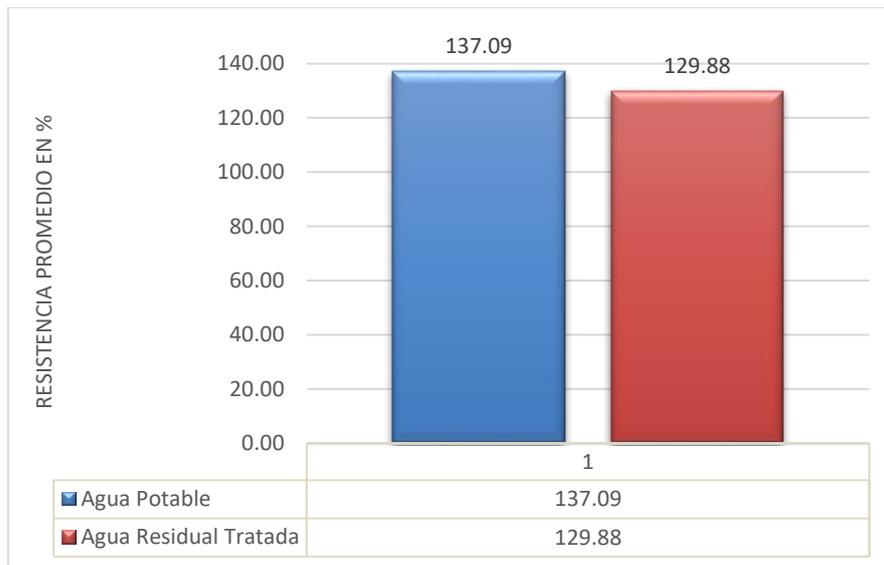


Gráfico 9 Comparación de porcentaje promedio de la resistencia a compresión de concreto a los 28, respecto al diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con una diferencia de 7.21%

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión.

De los resultados de los ensayos de agregados extraídos de la cantera Roca Fuerte.

Se analizó los resultados de los ensayos realizados tanto al agregado fino como del grueso, se evaluó la resistencia a compresión de las probetas cilíndricas.

El presente análisis está enfocado a describir el comportamiento del concreto con agua residual tratada, por medio de las propiedades físicas y mecánicas de este tipo de concreto y así determinar la factibilidad de reusar el agua residual tratada en el área de la construcción.

Dentro de este capítulo se presentan los resultados y análisis de los ensayos experimentales realizados.

Módulo de finura.

De acuerdo con el ensayo de granulometría, tenemos que el módulo de finura del agregado fino es de 2.69, dicho valor cumple con las especificaciones de la norma NTP 400.012 la cual nos indica que el módulo de finura del agregado fino debe estar entre $2.3 < MF < 3.1$.

Contenido de humedad.

La norma NTP 339.127, nos dice que el contenido de humedad para el agregado fino debe ser de 7.8% a menos y para el agregado grueso a menos de 2.7%, tenemos que el porcentaje de humedad del agregado fino es de 7.47% y del agregado grueso

2.322%, lo cual se puede decir que cumple con dicha especificación. El contenido de humedad nos logró determinar la cantidad de agua necesaria para la elaboración de probetas.

Porcentaje que pasa el tamiz N°200

Según la norma NTP 400.021 dice que el porcentaje que debe pasar la malla N° 200 para el agregado fino no debe exceder el 5% y el 1% en caso del agregado grueso, de los ensayos realizados a los agregados tenemos que 3,54% y 0.824% pasan el tamiz N°200 tanto del agregado fino y grueso respectivamente, cumpliendo así con la especificación que nos indica la norma.

Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con agua residual tratada y agua potable.

Se presentan los valores promedios de la resistencia a la compresión obtenidos de las mezclas de concreto realizadas en este trabajo. Asimismo, se presentan las tablas correspondientes para cada cilindro ensayado a los 7, 14 y 28 días, tanto para los que se prepararon con mezcla utilizando agua residual tratada como aquellas con agua potable. Es importante señalar que la resistencia esperada con el diseño de mezcla es de 210 kg/cm².

Se analizó los resultados de rotura realizados, se evaluó la resistencia a compresión de las probetas cilíndricas.

La resistencia promedio a compresión a los 07 días de edad de las probetas de concreto con agua potable es de 220.27 kg/cm², las probetas con agua residual tratada presentan una resistencia a compresión promedio de 201.32 kg/cm² la cual no llega

al $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de diseño. De los valores obtenidos se puede decir que la resistencia a compresión promedio de concreto con agua potable, es mayor a la de las probetas con agua residual tratada, esta diferencia de 18.95 kg/cm^2 puede ser debida principalmente por el retraso del tiempo de fraguado que existe entre las mezclas y además por la presencia de mayores químicos.

La resistencia promedio a compresión a los 14 días de edad de las probetas de concreto con agua potable es de 260.23 kg/cm^2 , las probetas con agua residual tratada presentan una resistencia a compresión promedio de 246.24 kg/cm^2 , con este valor promedio cumple la resistencia para un concreto con un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. De los valores obtenidos se puede decir que la resistencia a compresión promedio de concreto con agua residual, está dentro del rango de diseño, con una diferencia de 13.99 kg/cm^2 .

La resistencia promedio a compresión a los 28 días de edad la probeta de concreto con agua potable es de 287.90 kg/cm^2 , las probetas con agua residual tratada presentan una resistencia a compresión promedio de 272.74 kg/cm^2 con este valor promedio cumple la resistencia para un concreto con un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. De los valores obtenidos se puede decir que la resistencia a compresión promedio de concreto con agua residual, está dentro del rango de diseño, con una diferencia de 15.15 kg/cm^2 , y puede ser utilizada para la fabricación de concreto en obras de construcción civil.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la resistencia utilizando agua residual tratada, se puede afirmar que la resistencia a la compresión del concreto está dentro del rango de diseño, con una resistencia promedio con agua potable a los 28 días de 287.90 kg/cm^2 y con agua residual tratada con un promedio de 272.74 kg/cm^2 , por ende, su funcionamiento en la construcción civil es viable por presentar una resistencia a compresión del concreto que está por encima del diseño de 210.00 kg/cm^2 , y para este uso no hay limitaciones para poder usar agua residual tratada, excepto que estas aguas no reciban un adecuado tratamiento, Ver (Tabla 32).

Porcentaje promedio de resistencia alcanzada a los 28 días, respecto al diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, de agua potable es de 137.09% y de agua residual tratada es de 129.88% con una diferencia de 7.21%, Ver (Tabla 33).

En relación a la metodología aplicada, se encontró cierta similitud en las pruebas antes realizadas en los especímenes. Por lo demás, la presente investigación propone metodología encamina a la utilización de agua residual tratada en estructuras de concreto, debido a los resultados encontradas en esta investigación y otras investigaciones y los problemas que enfrentan las grandes ciudades es el suministro y distribución y mal uso de agua potable la escasez de este líquido y la presente será como base para otras investigaciones futuras.

Comparación de resistencia a la compresión de cilindros con agua residual tratada y agua potable respecto a otras investigaciones.

La resistencia a compresión en general del concreto elaborado agua residual tratada, es menor la disminución de la resistencia en comparación con los resultados

obtenidos en la investigación presentada en artículo “Uso de aguas residuales industriales tratadas como mezclas de agua en obras de cemento” de (Ghusain & Mohammad J. Terro (2001), donde también informaron que no se demostró que las aguas residuales tratadas tuvieran efectos adversos sobre el concreto, esto se puede evidenciar ya que su resistencia de probetas con agua residual tratada disminuye en un 9%, en la investigación “Efectos en la resistencia del hormigón simple elaborados con agua residual tratada proveniente de la PTAR Cañaveralejo”.

Calderón Linares & Burbano Cerón (2016), donde la probetas elaboradas con el agua residual tratada disminuye en 11.1%, los resultados obtenidos en la investigación de tesis “Propiedades físicas del concreto elaborado con agua residual tratada” de Dieguez (2011), donde se presentó una disminución al 10% en la resistencia a la compresión del concreto realizado con el agua residual tratada y en la investigación de artículo titulado “Elaboración de concretos con aguas tratadas” de Vázquez, González, Rocha, & Flores (2001), donde concluyen que se tienen incrementos entre 10 y 40% en su resistencia y los resultados obtenidas en la presente tesis donde la resistencia a compresión del agua potable y agua residual tratada disminuye en un 7.21%. De esta comparación entre las cinco investigaciones solo en un artículo demuestran que las probetas echas con agua residual tratada aumenta en un valor muy elevado, donde una limitación para poder determinar, si el agua residual tratada es apta o no para el uso de la elaboración del concreto. Pero por las cuatro investigaciones que demuestran lo contrario, se puede determinar que el agua residual tratada es apta para el uso del concreto aun cuando disminuye su resistencia debido a la modificación química que presentan.

En relación a la metodología aplicada, se encontró cierta similitud en las pruebas antes realizadas de inmersión llevadas a cabo en los especímenes estabilizados. Por lo demás, la presente investigación propone metodología encaminada a la utilización de agua residual tratada en estructuras de concreto.

LA Norma E-060, de concreto armado donde dice: Los cubos de mortero para ensayos, hechos con agua no potable, deben tener resistencias a los 7 y 28 días, de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. Po lo que los porcentajes de resistencia de agua potable con respecto al agua residual tratada a los 07, 14, y 28 días fueron de: 91.40 %, 94.62 %, y 94.74 % respectivamente, por lo que, si cumple lo establecido por la norma, por lo que el agua residual tratada si puede ser utilizada para la elaboración de concreto.

De los resultados del análisis de la planta de tratamiento del distrito de la Encañada Polloc.

En la tabla N° 23 de resultados se presentan algunos de los parámetros que definen la calidad del efluente de la Planta de Tratamiento “La Encañada-Polloc” en el mes de mayo del 2018, donde los resultados obtenidos están dentro de los límites aceptables para la elaboración del concreto según Roque, (2012), (ver table 2). y se puede determinar que el agua esta apta para el uso de la elaboración del concreto, aun cuando tiene componentes químicos.

Limitaciones e implicancia

limitaciones

No se encuentra limitaciones

Implicancia

El agua es uno de los componentes del concreto y por lo que en esta investigación se demuestra que, al usar agua residual tratada de la PTAR, esta genera confianza para elaborar concreto para cualquier estructura ya que su resistencia está por encima del diseño.

4.2 Conclusiones

- La hipótesis se cumple parcialmente, ya que las probetas de concreto de agua residual tratada cumplen con los estándares de la Norma Peruana, al no disminuir su resistencia a la compresión, donde hay una diferencia de 7.21%, y estas cumplen con la resistencia a compresión con la que indica la norma técnica peruana.
- La resistencia a compresión del concreto con agua residual tratada tiene promedio a los 28 días de $f'c = 272.74 \text{ kg/cm}^2$ y con agua potable con un promedio de $f'c = 287.90 \text{ kg/cm}^2$, la variación es de $f'c = 15.15 \text{ kg/cm}^2$, la cual está por encima del diseño inicial que fue con un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Se determinó la variación de resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua residual tratada a los 07, 14 y 28 días de edad, donde los resultados fueron positivos con: $f'c = 201.32 \text{ kg/cm}^2$, $f'c = 246.24 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 272.74 \text{ kg/cm}^2$ y tiene una variación de resistencia de: $f'c = 18.95 \text{ kg/cm}^2$, $f'c = 13.99 \text{ kg/cm}^2$, y $f'c = 15.15 \text{ kg/cm}^2$, es apto respectivamente para el uso de la construcción civil.
- Se analizó el agua de la PTAR, donde los resultados están dentro del rango para la elaboración de concreto.
- El efluente de la Planta de Tratamiento del distrito de la Encañada según los parámetros regulados se encuentra apto para ser usado como agua de mezclado para la realización del concreto, se presentó una diferencia menor de 7.21% en la resistencia a la compresión del concreto, respecto al del agua potable, por lo que es apta para la elaboración de concreto.
- Se comparó la resistencia a compresión a los 07, 14 y 28 días de edad, presentan valores de resistencia del: 95.87%, 117.26%, 129.88% y respectivamente con

relación a las probetas de concreto convencional que tienen un valor de: 104.98%, 123.92%, 137.09%. donde el porcentaje de 14 y 28 días está por encima del diseño.

- Las probetas de concreto con agua residual tratada a los, 14 y 28 días de edad, aumenta su resistencia: 246.24 kg/cm² y 272.74 kg/cm², respecto al diseño de un $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

REFERENCIAS.

- Abanto, C. F. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos E.I.R.L. - Editor.
- ACI, A. C. (1991). *Manual of concrete practice. Parte 1 Materials and general Properties of concrete*.
- Apaza, D. (2012). Cemento. *Universidad Peruana Unión E.A.P.* Ingeniería Civil, Monografía, 2.
- Arreguín, F., Moeller, G., Escalante, V., & Rivas, A. (15 de 2010, mayo de 1997). El Reuso del Agua en México. *Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.*: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/acodal42/reuso.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua Ministerio de Agricultura. (2010). *Taller Internacional sobre el Uso de Aguas Residuales en la Agricultura*. Perú.
- Bauzán, I. (2011). *Importancia del agua en el concreto*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.360gradosblog.com/file.axd?file=2010%2F9%2FImportancia+del+agua+en+el+concreto.pdf> [Consulta: 2018, mayo 15].
- Bernal, A. J. (2009). *El Agua del Concreto*. El Concreto.
- Calderón Linares, A., & Burbano Cerón, M. (2016). *Efectos en la resistencia del hormigón simple elaborados con agua residual tratada proveniente de la PTAR Cañaveralejo*. Ingeniería y Región, 35-48.
- Cámara Colombiana de la construcción CAMACOL. (2014). *Informe económico una publicación mensual ¿qué nos indican las brechas del mercado edificador para el 2014?* Colombia: Tomado de internet: <http://camacol.co/sites/>.
- Carrillo, S. S. (2003). *Estudio comparativo entre tecnologías de producción de concreto. Piura: Mixer y Dispensador*. (Tesis de titulación). Universidad de Piura, Perú.
- Dieguez, P. V. (2011). *Propiedades físicas del concreto elaborado con agua residual tratada*. Caracas.
- El Ministro de Ambiente y Energía. (2005). Nº 31545-S-MINAE. DECRETOS.
- Fundación ICA. (18 de mayo de 2000). *Taller de concreto*. Obtenido de [Documento en línea]. Disponible <http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml> monografía
- Fundación ICA. (22 de marzo de 2000). *Introducción general al concreto*. Perú.
- Hernández, L. (1995). *Nuevas Tecnologías para el Saneamiento, Depuración y Reutilización de las Aguas Residuales en la Provincia de Alicante*. Libro en línea]. Disponible: <http://aguas.igme.es/igme/publica/libro33/lib33.htm> [Consulta: 2018, mayo 13].

- Loose, D. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Lima: Martha Miyashiro.
- Melo Da Silva, J. (2008). Melo, J. (2008). *Uso del Sistema de las aguas residuales tratadas, Lagunas de Estabilización para agua de amasado y curado de concreto Brasil* {Documento} http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/utiliza%C3%A7%C3%A3o-esgoto-tratado-em-sistema-lagoas-estabiliza%C3%A7%C3%A3o-como-agua-amassamento/id/37330867.html: [Consulta: 2018, mayo 05].
- Melo, J. (2008). *Uso del Sistema de las aguas residuales tratadas, Lagunas de Estabilización para agua de amasado y curado de concreto*. Brasil [Documento en línea]. Disponible: http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/utiliza%C3%A7%C3%A3o-esgoto-tratado-em-sistema-lagoas-estabiliza%C3%A7%C3%A3o-como-agua-amassamento/id/37330867.html Consulta: 2018, mayo 14].
- Méndez, V. J., & Marchán, P. J. (2008). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. Lima: RyF Publicaciones y Servicios S.A.C. SUNASS.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Perú.
- Mohammad J. Terro, & Ibrahim Al-Ghusain. (2003). *Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait*. [Documento en línea]. Disponible: http://pubcouncil.kuniv.edu.kw/kjse/english/wordfile/Volume_30_2003/v29-n1-2003/use.pdf [Consulta: 2010, octubre 0].
- Montoya, M. M. (2000). *Hormigón armado*.
- NORMA E.060. (2010). *Concreto armado*.
- Oviedo, L. (2011). *Estudio de alternativas de reúso y reciclaje de aguas residuales en aplicaciones industriales y municipales*. Bucaramanga, 15.
- Pacasmayo. (02 de mayo de 2017). *Productos y servicios*. Obtenido de <http://www.cementospacasmayo.com.pe/productos-y-servicios/cementos/>
- Reyes, B. J., & Rodríguez, P. Y. (2010). *Análisis de la resistencia a la compresión del concreto al adicionar limalla fina en un 3%, 4% y 5% respecto al peso de la mezcla. (Tesis de titulación)*. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Bolivia.
- Roque, C. G. (2012). *Tecnología del concreto*. Recuperado el 28 de abril del 2018, de <https://es.scribd.com/doc/219291936/Tecnologia-del-concreto-monografia>, 6.
- Vázquez, R. A., González, D. F., Rocha, C. L., & Flores, B. J. (2001). *Elaboración de concretos con aguas tratadas*. UAM Azcapotzalco.

ANEXOS

1.10. Anexo 1 Ensayos con agua potable.

Formulas empleadas.

Formula 1

Esfuerzo y deformación.

$\sigma =$	Carga	$\epsilon U =$	Deformación
	Area contacto		Alt. Inicial *10

1.10.1. Ensayos de resistencia a compresión con agua potable a los 7 días.

Tabla 34

Ensayo resistencia a compresión de PC-01, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Díámetro	15.1	cm.
Alt. Inicial	30.9	cm.
Área contacto	179.08	cm ² .
Edad de curado	7	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	0.72	11.168	0.002
2	4000	0.84	22.337	0.003
3	6000	1.15	33.505	0.004
4	8000	1.42	44.673	0.005
5	10000	1.61	55.841	0.005
6	12000	1.8	67.010	0.006
7	14000	1.91	78.178	0.006
8	16000	1.99	89.346	0.006
9	18000	2.09	100.515	0.007
10	20000	2.2	111.683	0.007
11	22000	2.32	122.851	0.008
12	24000	2.39	134.019	0.008

13	26000	2.45	145.188	0.008
14	28000	2.54	156.356	0.008
15	30000	2.63	167.524	0.008
16	32000	2.7	178.692	0.009
17	34000	2.79	189.861	0.009
18	36000	2.81	201.029	0.009
19	37342	2.85	208.523	0.009

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

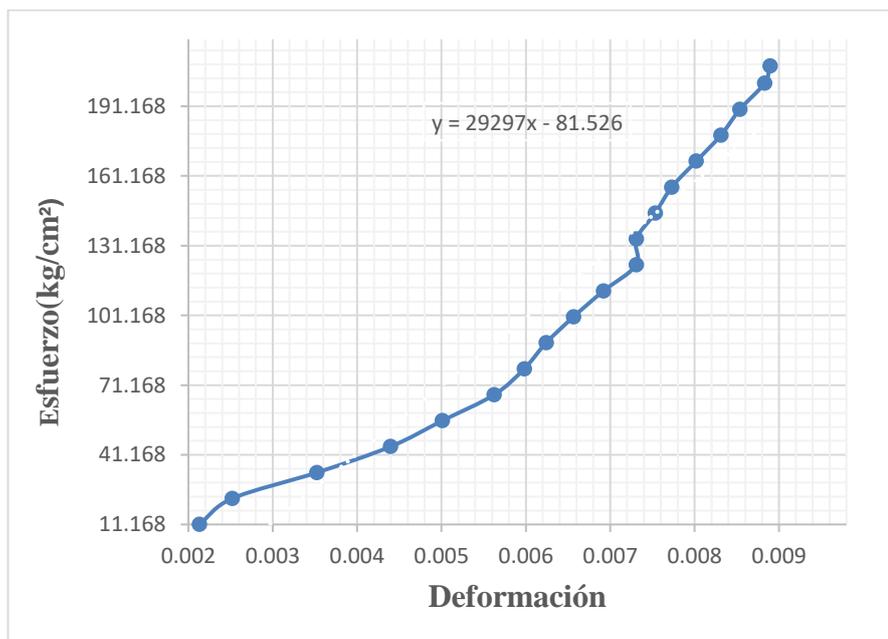


Gráfico 10 Esfuerzo VS deformación de PC-01.

Tabla 35

Ensayo resistencia a compresión de PC-02, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.1	cm.

Alt. Inicial	30.9	cm.
Área contacto	179.08	cm ² .
Edad de curado	7	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.84	11.168	0.006
2	4000	2.1	22.337	0.007
3	6000	2.36	33.505	0.008
4	8000	2.45	44.673	0.008
5	10000	2.62	55.841	0.008
6	12000	2.74	67.010	0.009
7	14000	2.83	78.178	0.009
8	16000	2.94	89.346	0.010
9	18000	3.03	100.515	0.010
10	20000	3.22	111.683	0.010
11	22000	3.41	122.851	0.011
12	24000	3.52	134.019	0.011
13	26000	3.61	145.188	0.012
14	28000	3.7	156.356	0.012
15	30000	3.79	167.524	0.012
16	32000	3.88	178.692	0.013
17	34000	3.97	189.861	0.013
18	36000	4.01	201.029	0.013
19	38478	4.06	214.867	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

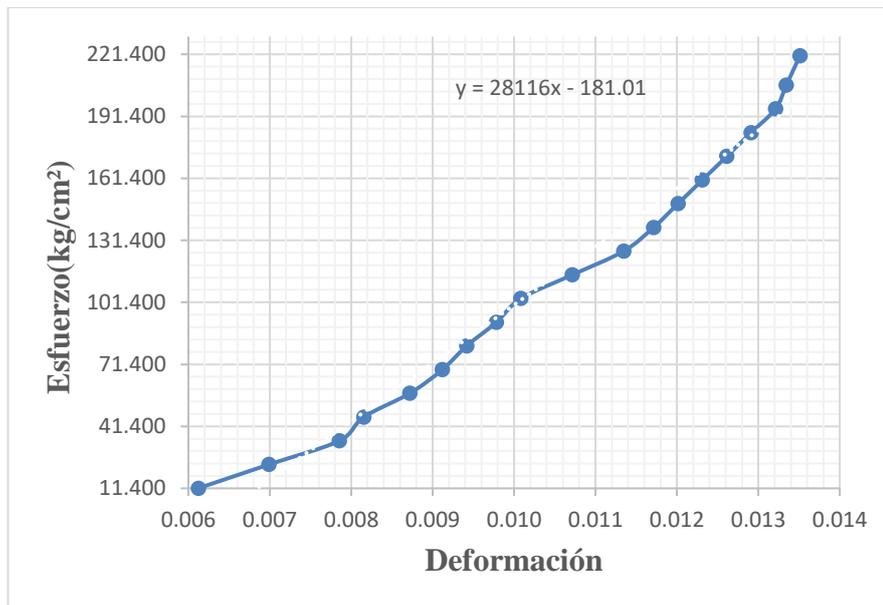


Gráfico 11 Esfuerzo VS deformación de PC-02.

Tabla 36

Ensayo resistencia a compresión de PC-03, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.95	cm.
Alt. Inicial	30.1	cm.
Área contacto	175.54	cm ² .
Edad de curado	7	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	ϵ_u
1	2000	1.15	11.394	0.004
2	4000	1.24	22.787	0.004
3	6000	1.38	34.181	0.005
4	8000	1.54	45.574	0.005
5	10000	1.78	56.968	0.006
6	12000	2.00	68.361	0.007

7	14000	2.18	79.755	0.007
8	16000	2.32	91.148	0.008
9	18000	2.48	102.542	0.008
10	20000	2.62	113.935	0.009
11	22000	2.75	125.329	0.009
12	24000	2.88	136.722	0.010
13	26000	2.99	148.116	0.010
14	28000	3.08	159.509	0.010
15	30000	3.18	170.903	0.011
16	32000	3.27	182.296	0.011
17	34000	3.42	193.690	0.011
18	36000	3.55	205.083	0.012
19	38000	3.63	216.477	0.012
20	38964	3.7	221.968	0.012

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

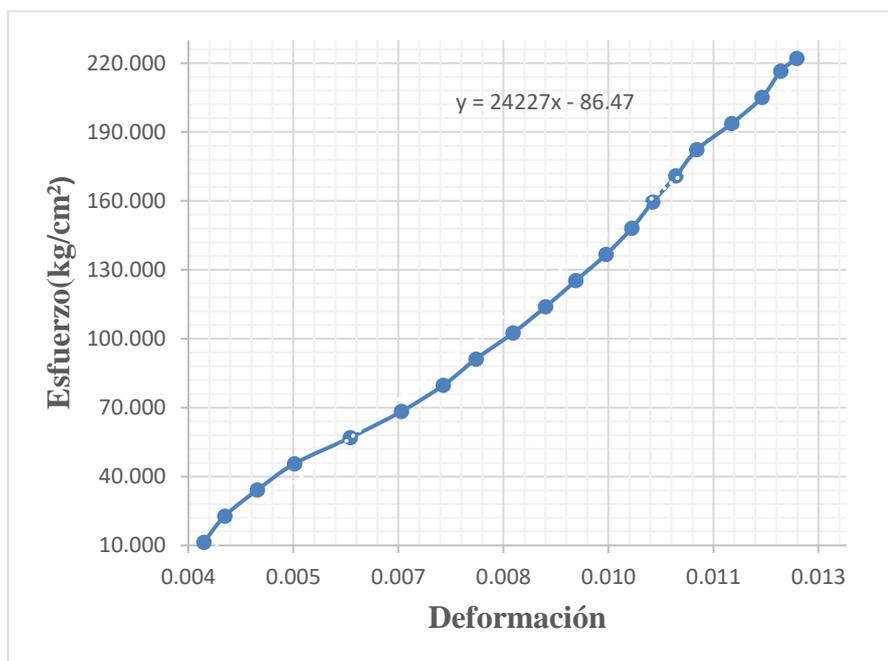


Gráfico 12 Esfuerzo VS deformación de PC-03.

Tabla 37

Ensayo resistencia a compresión de PC-04, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.95	cm.
Alt. Inicial	30.15	cm.
Área contacto	175.54	cm ² .
Edad de curado	7	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.46	11.394	0.005
2	4000	2.11	22.787	0.007
3	6000	2.38	34.181	0.008
4	8000	2.62	45.574	0.009
5	10000	2.81	56.968	0.009
6	12000	2.98	68.361	0.010
7	14000	3.13	79.755	0.010
8	16000	3.32	91.148	0.011
9	18000	3.44	102.542	0.011
10	20000	3.56	113.935	0.012
11	22000	3.69	125.329	0.012
12	24000	3.81	136.722	0.013
13	26000	3.92	148.116	0.013
14	28000	4.01	159.509	0.013
15	30000	4.11	170.903	0.014
16	32000	4.22	182.296	0.014
17	34000	4.33	193.690	0.014
18	36000	4.45	205.083	0.015
19	38000	4.52	216.477	0.015
20	40000	4.61	227.870	0.015
21	40279	4.68	229.460	0.016

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

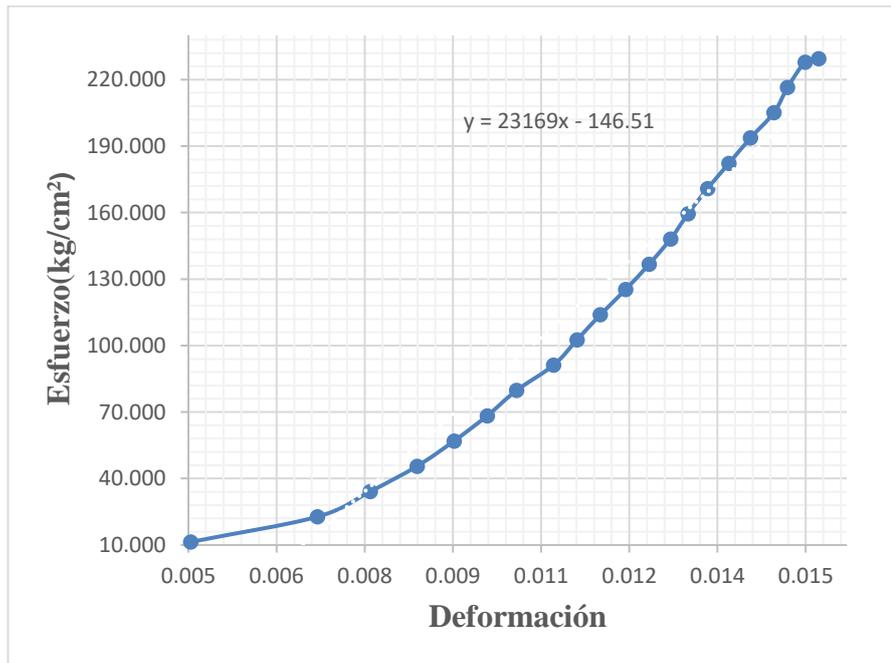


Gráfico 13 Esfuerzo VS deformación de PC-04.

Tabla 38

Ensayo resistencia a compresión de PC-05, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.9	cm.
Alt. Inicial	30.15	cm.
Área contacto	174.37	cm ² .
Edad de curado	7	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.72	11.470	0.006
2	4000	1.96	22.940	0.007

3	6000	2.21	34.410	0.007
4	8000	2.48	45.880	0.008
5	10000	2.67	57.351	0.009
6	12000	2.81	68.821	0.009
7	14000	2.96	80.291	0.010
8	16000	3.09	91.761	0.010
9	18000	3.18	103.231	0.011
10	20000	3.38	114.701	0.011
11	22000	3.51	126.171	0.012
12	24000	3.66	137.641	0.012
13	26000	3.73	149.111	0.012
14	28000	3.81	160.582	0.013
15	30000	3.89	172.052	0.013
16	32000	3.95	183.522	0.013
17	34000	4.03	194.992	0.013
18	36000	4.16	206.462	0.014
19	38000	4.22	217.932	0.014
20	40000	4.35	229.402	0.014
21	41114	4.38	235.791	0.015

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

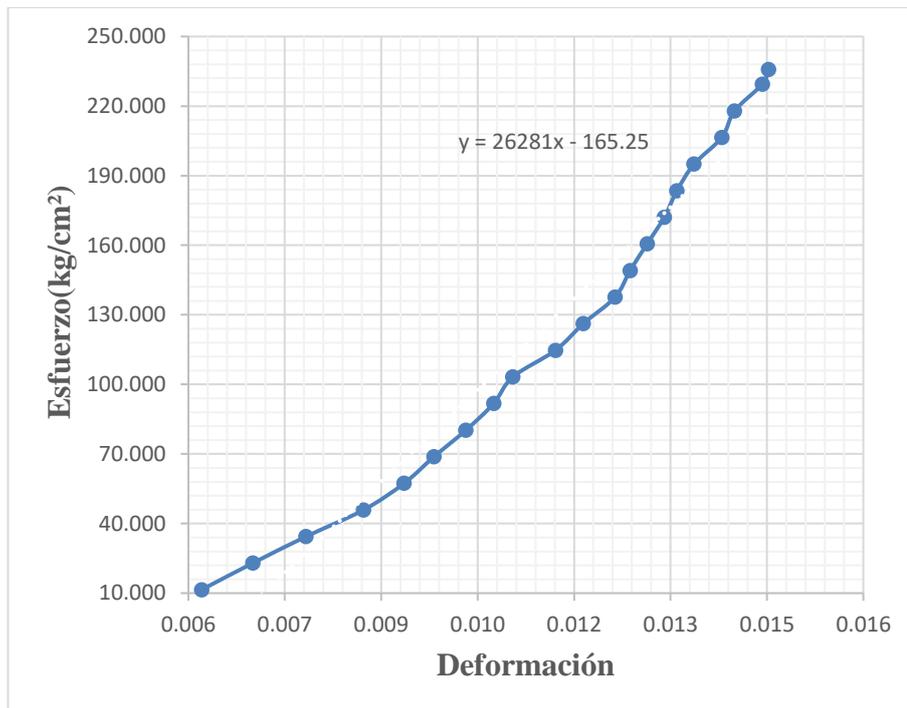


Gráfico 14 Esfuerzo VS deformación de PC-05.

Tabla 39

Ensayo resistencia a compresión de PC-06, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.2	cm.
Alt. Inicial	30.65	cm.
Área contacto	181.46	cm ² .
Edad de curado	7	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	ϵ_u
1	2000	1.25	11.022	0.004
2	4000	1.48	22.044	0.005
3	6000	1.68	33.065	0.005
4	8000	1.9	44.087	0.006
5	10000	2.11	55.109	0.007

6	12000	2.31	66.131	0.008
7	14000	2.48	77.153	0.008
8	16000	2.55	88.174	0.008
9	18000	2.64	99.196	0.009
10	20000	2.73	110.218	0.009
11	22000	2.81	121.240	0.009
12	24000	2.9	132.262	0.009
13	26000	2.99	143.284	0.010
14	28000	3.11	154.305	0.010
15	30000	3.23	165.327	0.011
16	32000	3.37	176.349	0.011
17	34000	3.42	187.371	0.011
18	36000	3.47	198.393	0.011
19	38000	3.55	209.414	0.012
20	38295	3.59	211.040	0.012

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

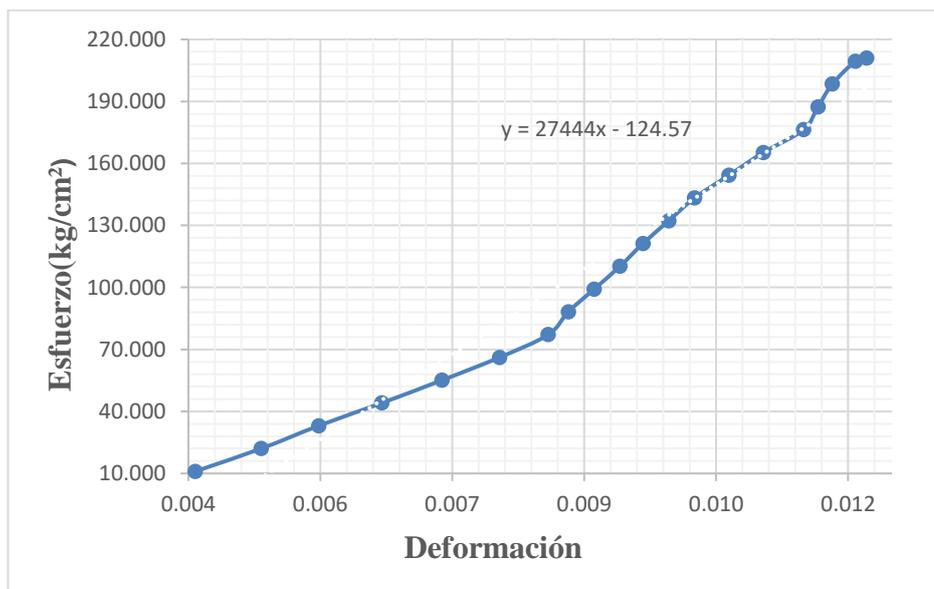


Gráfico 15 Esfuerzo VS deformación de PC-06.

Ensayos con agua potable a los 14 días.

Tabla 40

Ensayo resistencia a compresión de PC-01, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15	cm.
Alt. Inicial	30.2	cm.
Área contacto	176.71	cm ² .
Edad de curado	14	días

Nº	arga (Kg)	deformación (mm)	(kg/cm ²)	eu
1	2000	0.7	11.318	0.002
2	4000	0.93	22.635	0.003
3	6000	1.15	33.953	0.004
4	8000	1.3	45.271	0.004
5	10000	1.42	56.588	0.005
6	12000	1.53	67.906	0.005
7	14000	1.61	79.224	0.005
8	16000	1.7	90.541	0.006
9	18000	1.75	101.859	0.006
10	20000	1.8	113.177	0.006
11	22000	1.87	124.495	0.006
12	24000	1.94	135.812	0.006
13	26000	2	147.130	0.007
14	28000	2.07	158.448	0.007
15	30000	2.14	169.765	0.007
16	32000	2.2	181.083	0.007
17	34000	2.26	192.401	0.007
18	36000	2.3	203.718	0.008
19	38000	2.38	215.036	0.008

20	40000	2.45	226.354	0.008
21	42000	2.52	237.671	0.008
22	44000	2.63	248.989	0.009
23	46000	2.65	260.307	0.009
24	47273	2.68	267.510	0.009

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

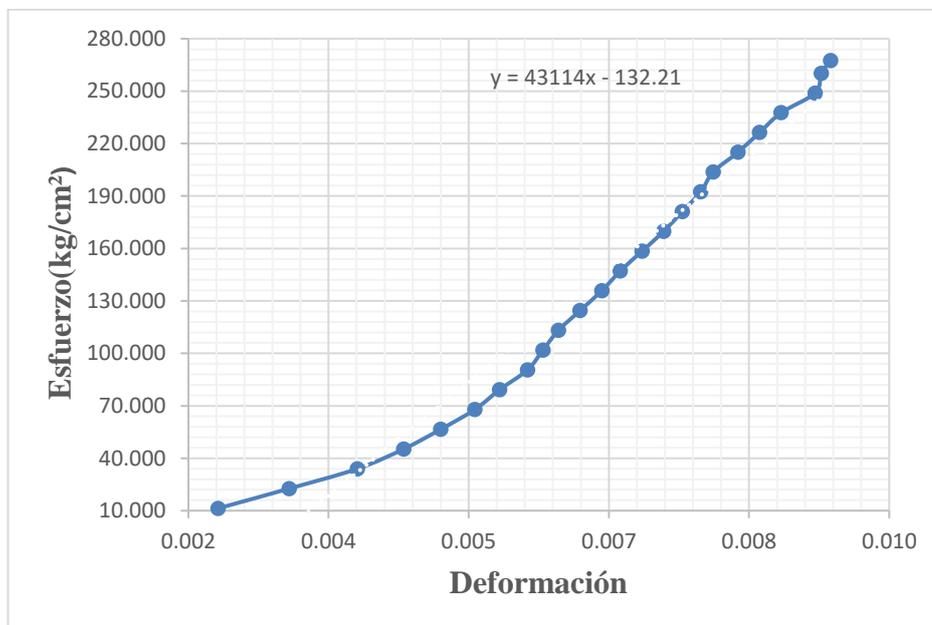


Gráfico 16 Esfuerzo VS deformación de PC-01.

Tabla 41

Ensayo resistencia a compresión de PC-02, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.01	cm.
Alt. Inicial	30.5	cm.
Área contacto	176.95	cm ² .
Edad de curado	14	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	0.84	11.303	0.003
2	4000	0.93	22.605	0.003
3	6000	1.14	33.908	0.004
4	8000	1.25	45.210	0.004
5	10000	1.34	56.513	0.004
6	12000	1.5	67.816	0.005
7	14000	1.61	79.118	0.005
8	16000	1.7	90.421	0.006
9	18000	1.78	101.723	0.006
10	20000	1.84	113.026	0.006
11	22000	1.91	124.329	0.006
12	24000	1.97	135.631	0.006
13	26000	2.07	146.934	0.007
14	28000	2.13	158.237	0.007
15	30000	2.18	169.539	0.007
16	32000	2.22	180.842	0.007
17	34000	2.26	192.144	0.007
18	36000	2.31	203.447	0.008
19	38000	2.39	214.750	0.008
20	40000	2.51	226.052	0.008
21	42000	2.55	237.355	0.008
22	43178	2.6	244.012	0.009

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

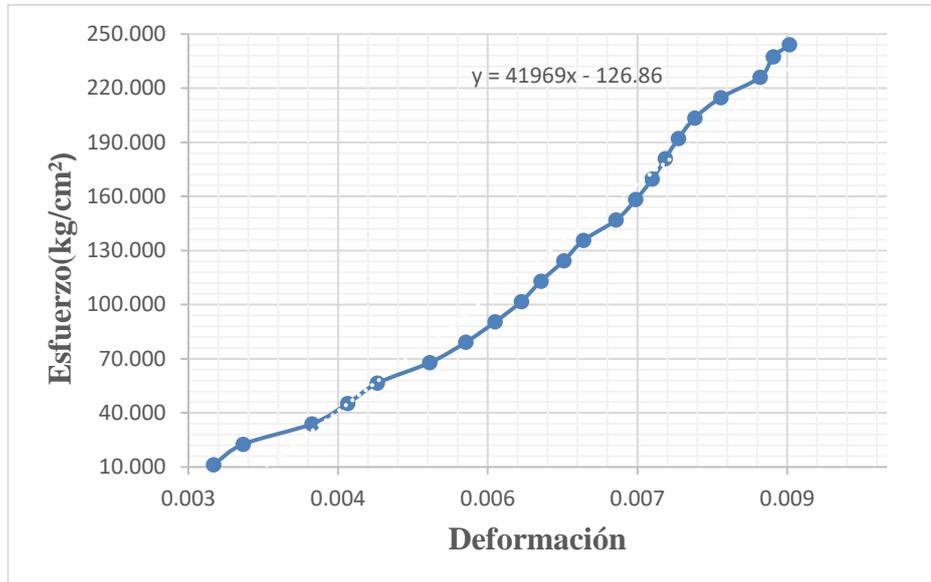


Gráfico 17 Esfuerzo VS deformación de PC-02.

Tabla 42

Ensayo resistencia a compresión de PC-03, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.90	cm.
Alt. Inicial	30.00	cm.
Área contacto	174.37	cm ² .
Edad de curado	14.00	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	(kg/cm ²)	eu
1	2000	1.72	11.470	0.006
2	4000	1.88	22.940	0.006
3	6000	1.95	34.410	0.007
4	8000	2.05	45.880	0.007

5	10000	2.2	57.351	0.007
6	12000	2.29	68.821	0.008
7	14000	2.36	80.291	0.008
8	16000	2.44	91.761	0.008
9	18000	2.5	103.231	0.008
10	20000	2.55	114.701	0.009
11	22000	2.61	126.171	0.009
12	24000	2.65	137.641	0.009
13	26000	2.7	149.111	0.009
14	28000	2.75	160.582	0.009
15	30000	2.82	172.052	0.009
16	32000	2.86	183.522	0.010
17	34000	2.88	194.992	0.010
18	36000	2.91	206.462	0.010
19	38000	2.97	217.932	0.010
20	40000	3.05	229.402	0.010
21	42000	3.15	240.872	0.011
22	44000	3.21	252.342	0.011
23	46000	3.3	263.813	0.011
24	48000	3.38	275.283	0.011
25	48812	3.44	279.940	0.011

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

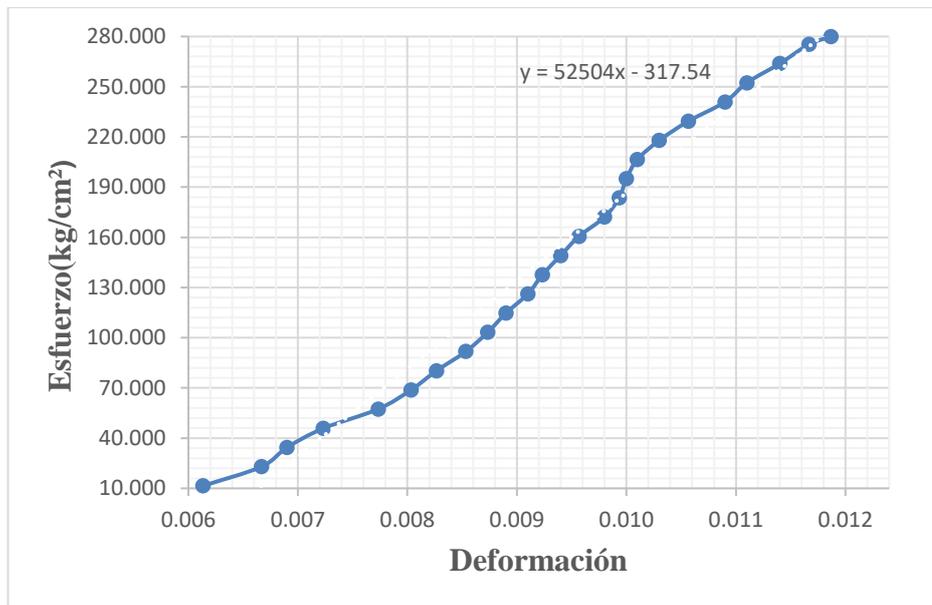


Gráfico 18 Esfuerzo VS deformación de PC-03.

Tabla 43

Ensayo resistencia a compresión de PC-04, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	16.16	cm.
Alt. Inicial	30.05	cm.
Área contacto	205.10	cm ² .
Edad de curado	14	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	2.49	9.751	0.008
2	4000	2.65	19.502	0.009
3	6000	2.74	29.254	0.009
4	8000	2.82	39.005	0.009
5	10000	2.85	48.756	0.009
6	12000	2.87	58.507	0.010
7	14000	2.9	68.258	0.010
8	16000	2.93	78.009	0.010

9	18000	2.98	87.761	0.010
10	20000	3.1	97.512	0.010
11	22000	3.18	107.263	0.011
12	24000	3.23	117.014	0.011
13	26000	3.28	126.765	0.011
14	28000	3.33	136.517	0.011
15	30000	3.38	146.268	0.011
16	32000	3.49	156.019	0.012
17	34000	3.59	165.770	0.012
18	36000	3.63	175.521	0.012
19	38000	3.68	185.273	0.012
20	40000	3.74	195.024	0.012
21	42000	3.79	204.775	0.013
22	44000	3.84	214.526	0.013
23	46000	3.88	224.277	0.013
24	47273	3.93	230.484	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

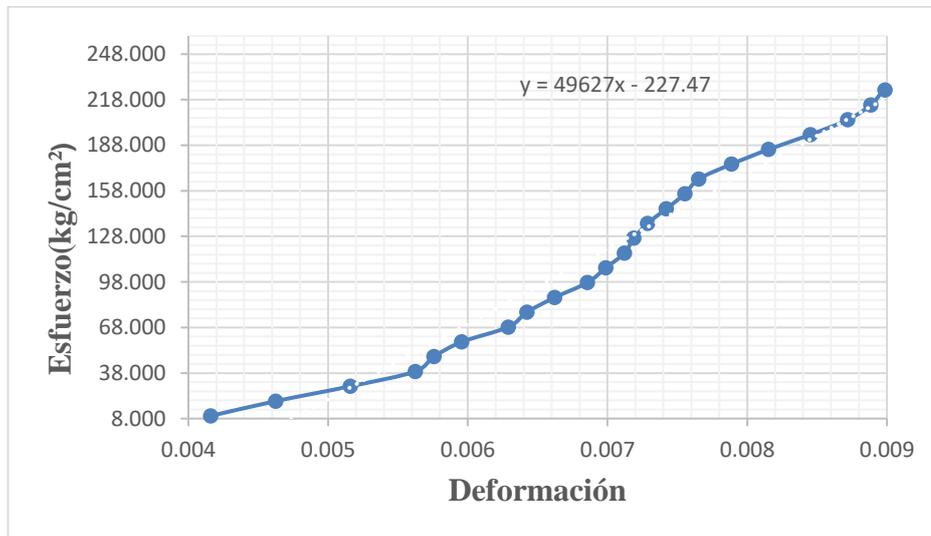


Gráfico 19 Esfuerzo VS deformación de PC-04.

Tabla 44

Ensayo resistencia a compresión de PC-05, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.16	cm.
Alt. Inicial	30.65	cm.
Área contacto	180.50	cm ² .
Edad de curado	14	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.3	11.080	0.004
2	4000	1.58	22.160	0.005
3	6000	1.73	33.240	0.006
4	8000	1.84	44.320	0.006
5	10000	1.93	55.400	0.006
6	12000	2.01	66.480	0.007
7	14000	2.09	77.560	0.007

8	16000	2.15	88.640	0.007
9	18000	2.19	99.720	0.007
10	20000	2.22	110.800	0.007
11	22000	2.25	121.881	0.007
12	24000	2.28	132.961	0.007
13	26000	2.31	144.041	0.008
14	28000	2.34	155.121	0.008
15	30000	2.41	166.201	0.008
16	32000	2.56	177.281	0.008
17	34000	2.61	188.361	0.009
18	36000	2.67	199.441	0.009
19	38000	2.75	210.521	0.009
20	40000	2.82	221.601	0.009
21	42000	2.93	232.681	0.010
22	44000	3.03	243.761	0.010
23	46000	3.1	254.841	0.010
24	48000	3.18	265.921	0.010
25	48812	3.22	270.420	0.011

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

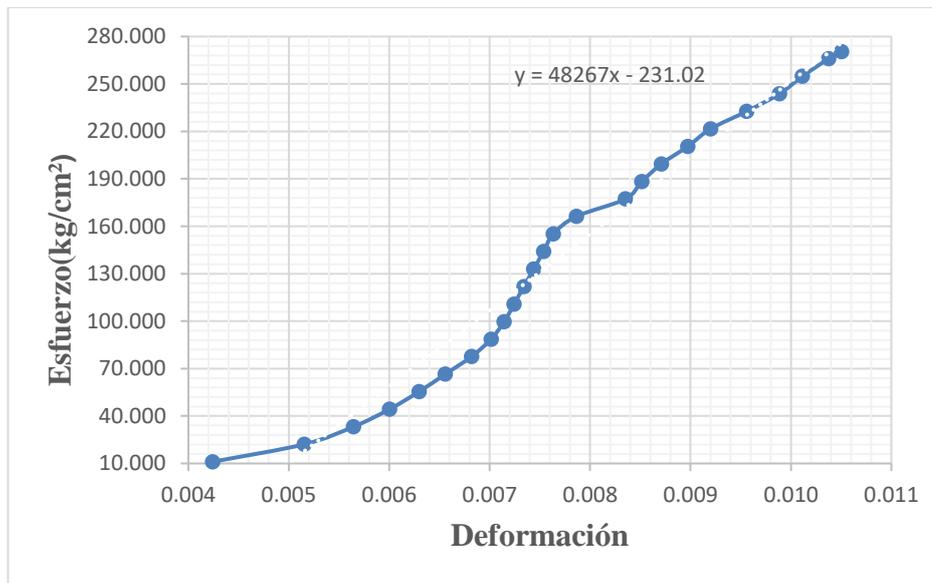


Gráfico 20 Esfuerzo VS deformación de PC-05.

Tabla 45

Ensayo resistencia a compresión de PC-06, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.18	cm.
Alt. Inicial	30.78	cm.
Área contacto	180.98	cm ² .
Edad de curado	14	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.83	11.051	0.006
2	4000	2.15	22.102	0.007
3	6000	2.3	33.153	0.007
4	8000	2.4	44.203	0.008
5	10000	2.56	55.254	0.008
6	12000	2.68	66.305	0.009
7	14000	2.75	77.356	0.009

8	16000	2.85	88.407	0.009
9	18000	2.94	99.458	0.010
10	20000	3.01	110.509	0.010
11	22000	3.09	121.560	0.010
12	24000	3.18	132.610	0.010
13	26000	3.25	143.661	0.011
14	28000	3.29	154.712	0.011
15	30000	3.33	165.763	0.011
16	32000	3.37	176.814	0.011
17	34000	3.44	187.865	0.011
18	36000	3.52	198.916	0.011
19	38000	3.61	209.967	0.012
20	40000	3.68	221.017	0.012
21	42000	3.75	232.068	0.012
22	44000	3.82	243.119	0.012
23	46000	3.94	254.170	0.013
24	46349	3.98	256.098	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

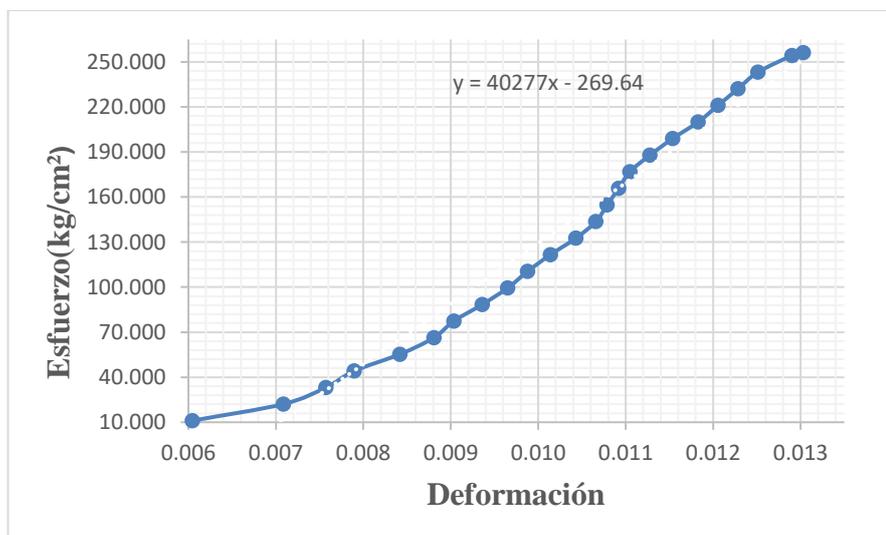


Gráfico 21 Esfuerzo VS deformación de PC-06.

Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días

Tabla 46

Ensayo resistencia a compresión de PC-01, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.9	cm.
Alt. Inicial	30.3	cm.
Área contacto	174.37	cm ² .
Edad de curado	28	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.95	11.470	0.006
2	4000	2.22	22.940	0.007
3	6000	2.4	34.410	0.008
4	8000	2.54	45.880	0.008
5	10000	2.63	57.351	0.009
6	12000	2.72	68.821	0.009
7	14000	2.8	80.291	0.009
8	16000	2.87	91.761	0.009
9	18000	2.95	103.231	0.010
10	20000	3	114.701	0.010
11	22000	3.05	126.171	0.010
12	24000	3.11	137.641	0.010
13	26000	3.15	149.111	0.010
14	28000	3.2	160.582	0.011
15	30000	3.27	172.052	0.011
16	32000	3.33	183.522	0.011
17	34000	3.38	194.992	0.011
18	36000	3.42	206.462	0.011
19	38000	3.48	217.932	0.011
20	40000	3.53	229.402	0.012
21	42000	3.57	240.872	0.012

22	44000	3.61	252.342	0.012
23	46000	3.67	263.813	0.012
24	48000	3.72	275.283	0.012
25	50000	3.77	286.753	0.012
26	52000	3.9	298.223	0.013
27	52224	3.94	299.508	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

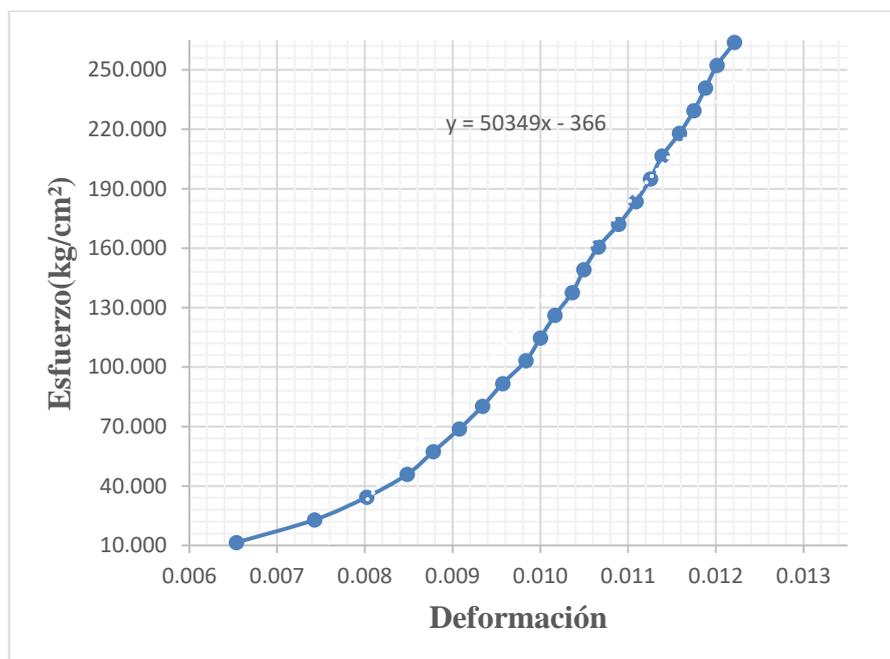


Gráfico 22 Esfuerzo VS deformación de PC-01.

Tabla 47

Ensayo resistencia a compresión de PC-02, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.9	cm.
Alt. Inicial	30.12	cm.
Área contacto	174.37	cm ² .
Edad de curado	28	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.65	11.470	0.005
2	4000	1.81	22.940	0.006
3	6000	1.88	34.410	0.006
4	8000	1.95	45.880	0.006
5	10000	2.01	57.351	0.007
6	12000	2.1	68.821	0.007
7	14000	2.2	80.291	0.007
8	16000	2.28	91.761	0.008
9	18000	2.36	103.231	0.008
10	20000	2.45	114.701	0.008
11	22000	2.5	126.171	0.008
12	24000	2.56	137.641	0.008
13	26000	2.62	149.111	0.009
14	28000	2.67	160.582	0.009
15	30000	2.74	172.052	0.009
16	32000	2.79	183.522	0.009
17	34000	2.83	194.992	0.009
18	36000	2.91	206.462	0.010
19	38000	2.95	217.932	0.010
20	40000	2.98	229.402	0.010
21	42000	3.05	240.872	0.010
22	44000	3.1	252.342	0.010
23	46000	3.15	263.813	0.010
24	48000	3.25	275.283	0.011
25	50000	3.35	286.753	0.011
26	51665	3.41	296.302	0.011

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

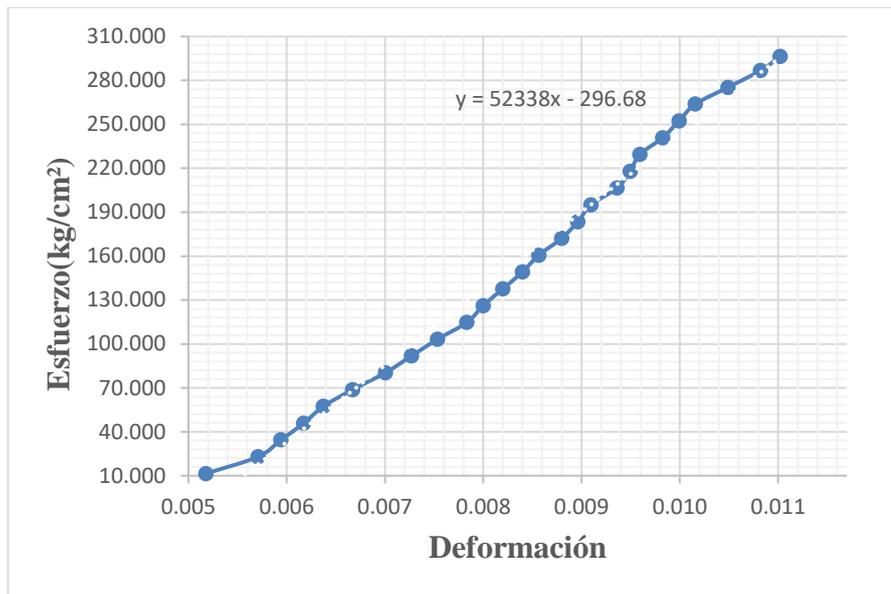


Gráfico 23 Esfuerzo VS deformación de PC-02.

Tabla 48

Ensayo resistencia a compresión de PC-03, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.15	cm.
Alt. Inicial	30.2	cm.
Área contacto	180.27	cm ² .
Edad de curado	28	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.3	11.095	0.043
2	4000	1.65	22.189	0.055
3	6000	1.89	33.284	0.063
4	8000	2.03	44.379	0.067
5	10000	2.16	55.473	0.072
6	12000	2.3	66.568	0.076
7	14000	2.49	77.663	0.082
8	16000	2.61	88.757	0.086

9	18000	2.73	99.852	0.090
10	20000	2.85	110.947	0.094
11	22000	2.94	122.041	0.097
12	24000	3.04	133.136	0.101
13	26000	3.1	144.231	0.103
14	28000	3.16	155.326	0.105
15	30000	3.24	166.420	0.107
16	32000	3.33	177.515	0.110
17	34000	3.41	188.610	0.113
18	36000	3.47	199.704	0.115
19	38000	3.58	210.799	0.119
20	40000	3.65	221.894	0.121
21	42000	3.72	232.988	0.123
22	44000	3.79	244.083	0.125
23	46000	3.85	255.178	0.127
24	48000	3.92	266.272	0.130
25	50000	3.97	277.367	0.131
26	52000	4.05	288.462	0.134
27	52777	4.15	292.772	0.137

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

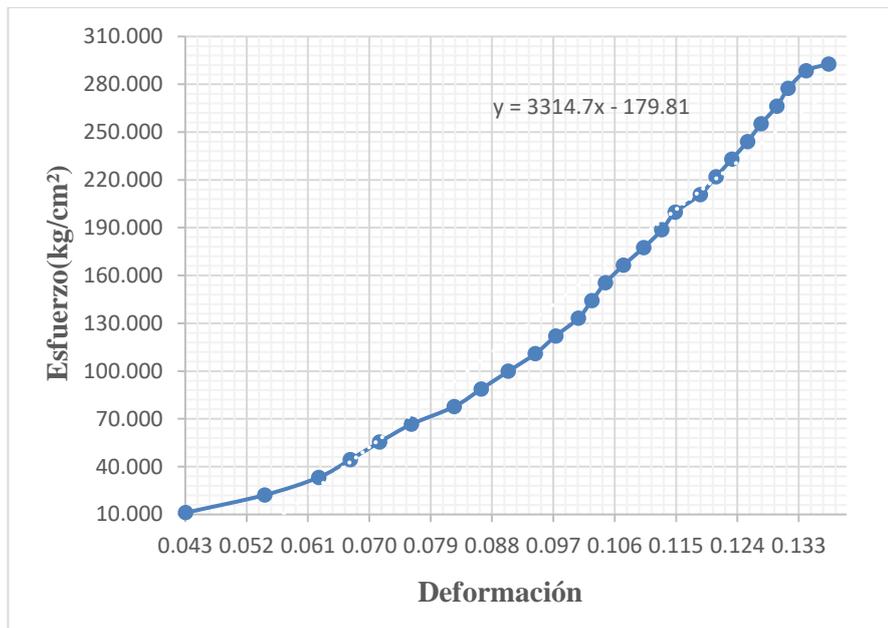


Gráfico 24 Esfuerzo VS deformación de PC-03.

Tabla 49

Ensayo resistencia a compresión de PC-04, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15	cm.
Alt. Inicial	30.15	cm.
Área contacto	176.71	cm ² .
Edad de curado	28	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	ε _u
1	2000	1.14	11.318	0.038
2	4000	1.38	22.635	0.046
3	6000	1.61	33.953	0.053
4	8000	1.75	45.271	0.058
5	10000	1.83	56.588	0.061
6	12000	1.96	67.906	0.065

7	14000	2.05	79.224	0.068
8	16000	2.11	90.541	0.070
9	18000	2.16	101.859	0.072
10	20000	2.21	113.177	0.073
11	22000	2.27	124.495	0.075
12	24000	2.36	135.812	0.078
13	26000	2.46	147.130	0.082
14	28000	2.52	158.448	0.084
15	30000	2.58	169.765	0.086
16	32000	2.65	181.083	0.088
17	34000	2.71	192.401	0.090
18	36000	2.77	203.718	0.092
19	38000	2.83	215.036	0.094
20	40000	2.89	226.354	0.096
21	42000	2.95	237.671	0.098
22	44000	3	248.989	0.100
23	46000	3.07	260.307	0.102
24	48000	3.16	271.624	0.105
25	48101	3.23	272.196	0.107

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

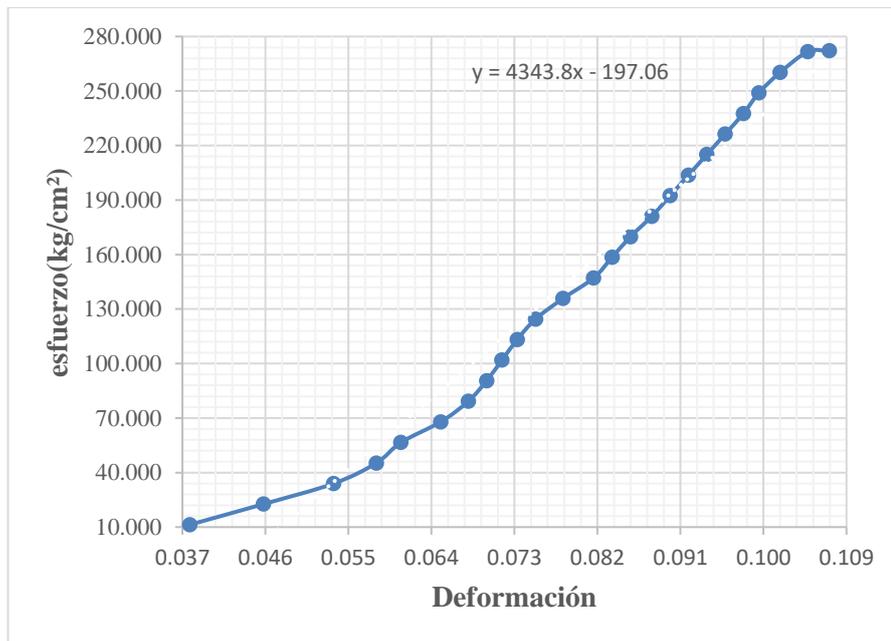


Gráfico 25 Esfuerzo VS deformación de PC-04.

Tabla 50

Ensayo resistencia a compresión de PC-05, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.98	cm.
Alt. Inicial	30.21	cm.
Área contacto	176.24	cm ² .
Edad de curado	28	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.63	11.348	0.005
2	4000	1.9	22.696	0.006
3	6000	2.09	34.044	0.007
4	8000	2.27	45.392	0.008
5	10000	2.4	56.740	0.008
6	12000	2.5	68.088	0.008

7	14000	2.59	79.435	0.009
8	16000	2.66	90.783	0.009
9	18000	2.74	102.131	0.009
10	20000	2.83	113.479	0.009
11	22000	2.9	124.827	0.010
12	24000	2.98	136.175	0.010
13	26000	3.05	147.523	0.010
14	28000	3.1	158.871	0.010
15	30000	3.25	170.219	0.011
16	32000	3.38	181.567	0.011
17	34000	3.44	192.915	0.011
18	36000	3.49	204.263	0.012
19	38000	3.55	215.611	0.012
20	40000	3.6	226.959	0.012
21	42000	3.65	238.306	0.012
22	44000	3.71	249.654	0.012
23	46000	3.77	261.002	0.012
24	48000	3.84	272.350	0.013
25	49985	3.92	283.613	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

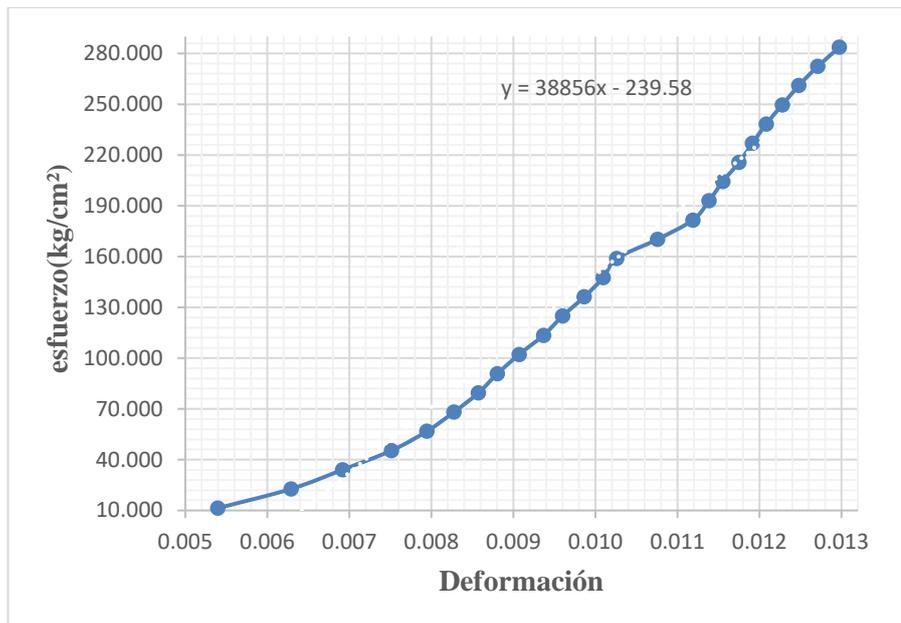


Gráfico 26 Esfuerzo VS deformación de PC-05.

Tabla 51

Ensayo resistencia a compresión de PC-06, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.05	cm.
Alt. Inicial	30.52	cm.
Área contacto	177.89	cm ² .
Edad de curado	28	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	2.04	11.243	0.007
2	4000	2.23	22.485	0.007
3	6000	2.5	33.728	0.008
4	8000	2.62	44.970	0.009
5	10000	2.75	56.213	0.009
6	12000	2.86	67.456	0.009

7	14000	2.95	78.698	0.010
8	16000	3.04	89.941	0.010
9	18000	3.1	101.183	0.010
10	20000	3.18	112.426	0.010
11	22000	3.25	123.669	0.011
12	24000	3.31	134.911	0.011
13	26000	3.37	146.154	0.011
14	28000	3.42	157.397	0.011
15	30000	3.49	168.639	0.011
16	32000	3.55	179.882	0.012
17	34000	3.6	191.124	0.012
18	36000	3.65	202.367	0.012
19	38000	3.71	213.610	0.012
20	40000	3.75	224.852	0.012
21	42000	3.8	236.095	0.012
22	44000	3.87	247.337	0.013
23	46000	3.92	258.580	0.013
24	48000	3.97	269.823	0.013
25	50000	4.08	281.065	0.013
26	50344	4.28	282.999	0.014

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua potable a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

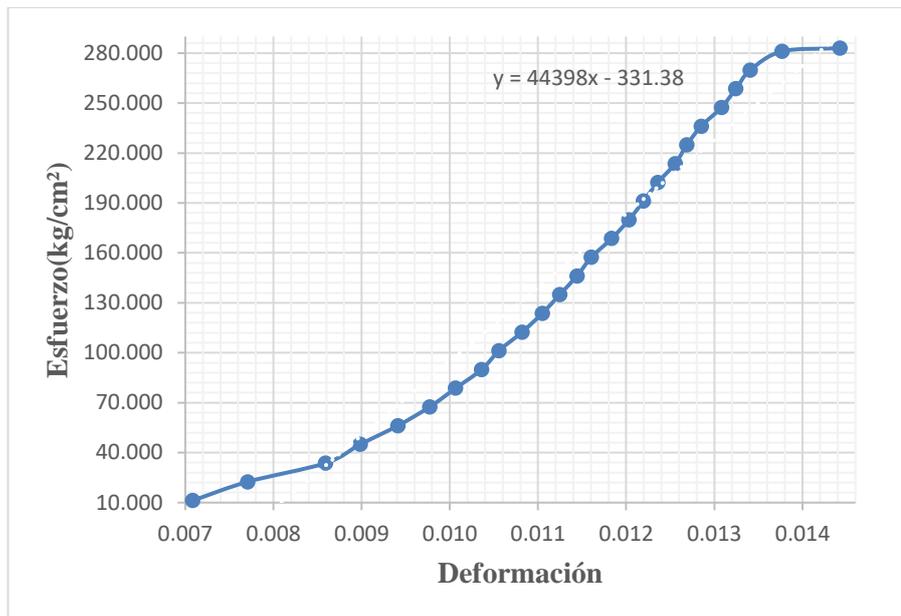


Gráfico 27 Esfuerzo VS deformación de PC-06.

Ensayos con agua residual tratada a los 7 días.

Tabla 52

Ensayo resistencia a compresión de ART-01, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.2	cm.
Alt. Inicial	30.65	cm.
Área contacto	181.46	cm ² .
Edad de curado	7	días

N°	Carga (Kg)	Deformación	σ (kg/cm ²)	eu (mm)
1	2000	2.15	11.168	0.007
2	4000	2.31	22.337	0.007
3	6000	2.48	33.505	0.008
4	8000	2.57	44.673	0.008
5	10000	2.66	55.841	0.009

6	12000	2.73	67.010	0.009
7	14000	2.83	78.178	0.009
8	16000	2.94	89.346	0.010
9	18000	3.01	100.515	0.010
10	20000	3.12	111.683	0.010
11	22000	3.22	122.851	0.010
12	24000	3.27	134.019	0.011
13	26000	3.35	145.188	0.011
14	28000	3.45	156.356	0.011
15	30000	3.57	167.524	0.012
16	32000	3.65	178.692	0.012
17	34000	3.75	189.861	0.012
18	36000	3.81	201.029	0.012
19	36487	3.87	203.748	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

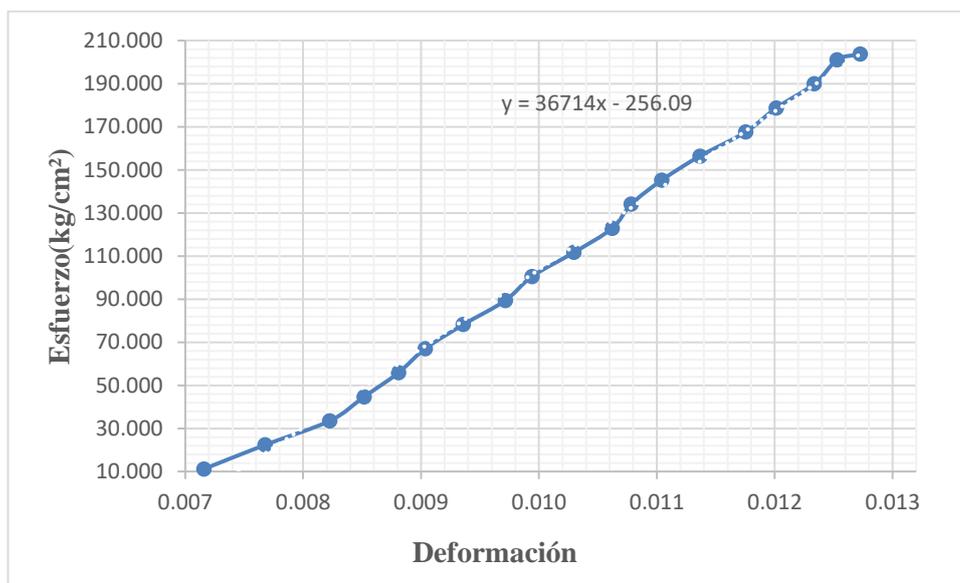


Gráfico 28 Esfuerzo VS deformación de PC-01.

Tabla 53

Ensayo resistencia a compresión de ART-02, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.12	cm.
Alt. Inicial	30.55	cm.
Área contacto	179.55	cm ² .
Edad de curado	7	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.25	11.139	0.004
2	4000	1.46	22.278	0.005
3	6000	1.59	33.416	0.005
4	8000	1.66	44.555	0.005
5	10000	1.85	55.694	0.006
6	12000	1.95	66.833	0.006
7	14000	2.15	77.971	0.007
8	16000	2.26	89.110	0.007
9	18000	2.39	100.249	0.008
10	20000	2.69	111.388	0.009
11	22000	2.87	122.526	0.009
12	24000	2.98	133.665	0.010
13	26000	3.19	144.804	0.010
14	28000	3.32	155.943	0.011
15	30000	3.41	167.081	0.011
16	32000	3.57	178.220	0.012
17	34000	3.63	189.359	0.012
18	36000	3.71	200.498	0.012
19	36338	3.78	202.380	0.012

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

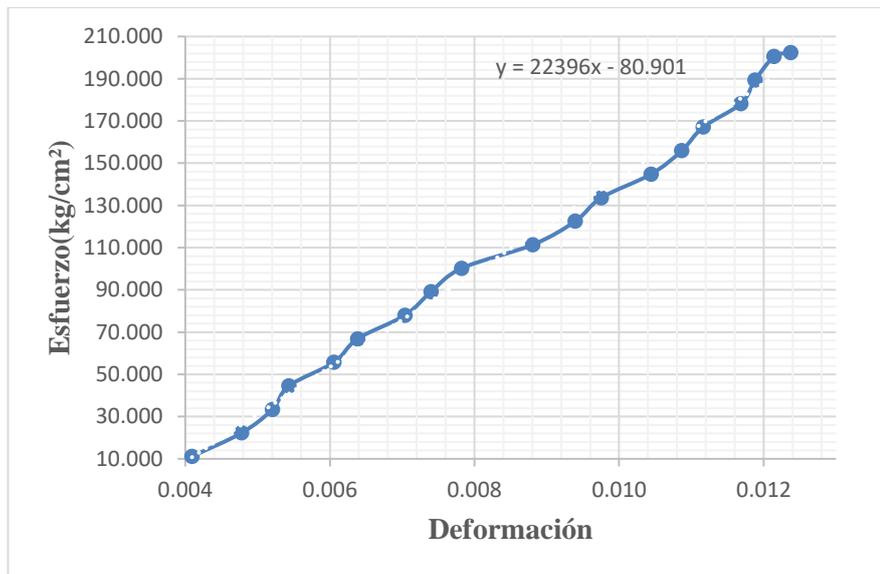


Gráfico 29 Esfuerzo VS deformación de PC-02.

Tabla 54

Ensayo resistencia a compresión de ART-03, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.12	cm.
Alt. Inicial	30.55	cm.
Área contacto	179.55	cm ² .
Edad de curado	7	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.67	11.139	0.005
2	4000	1.76	22.278	0.006
3	6000	1.87	33.416	0.006
4	8000	1.99	44.555	0.007
5	10000	2.11	55.694	0.007
6	12000	2.23	66.833	0.007
7	14000	2.46	77.971	0.008
8	16000	2.58	89.110	0.008

9	18000	2.76	100.249	0.009
10	20000	2.86	111.388	0.009
11	22000	2.99	122.526	0.010
12	24000	3.07	133.665	0.010
13	26000	3.19	144.804	0.010
14	28000	3.26	155.943	0.011
15	30000	3.41	167.081	0.011
16	32000	3.51	178.220	0.011
17	34000	3.67	189.359	0.012
18	36000	3.79	200.498	0.012
19	36948	3.74	205.777	0.012

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

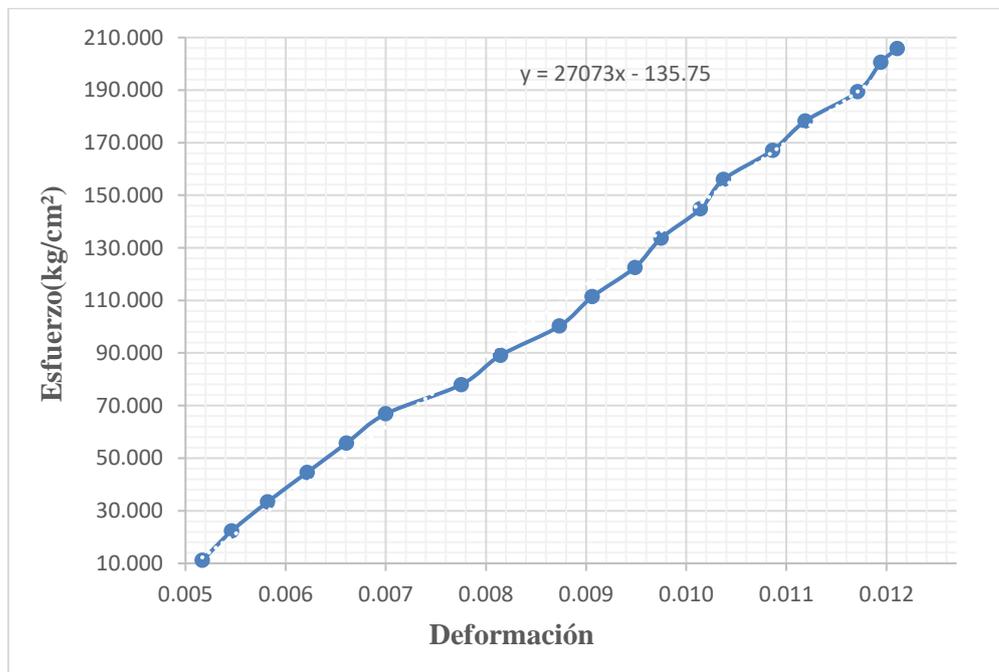


Gráfico 30 Esfuerzo VS deformación de PC-03.

Tabla 55

Ensayo resistencia a compresión de ART-04, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.25	cm.
Alt. Inicial	30.65	cm.
Área contacto	182.65	cm ² .
Edad de curado	7	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.25	10.950	0.004
2	4000	1.53	21.899	0.005
3	6000	1.65	32.849	0.005
4	8000	1.72	43.799	0.006
5	10000	1.86	54.748	0.006
6	12000	2.03	65.698	0.007
7	14000	2.16	76.648	0.007
8	16000	2.28	87.597	0.007
9	18000	2.41	98.547	0.008
10	20000	2.54	109.497	0.008
11	22000	2.69	120.446	0.009
12	24000	2.81	131.396	0.009
13	26000	2.93	142.346	0.010
14	28000	3.03	153.295	0.010
15	30000	3.15	164.245	0.010
16	32000	3.38	175.194	0.011
17	34000	3.57	186.144	0.012
18	36000	3.61	197.094	0.012
19	36487	3.65	199.760	0.012

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

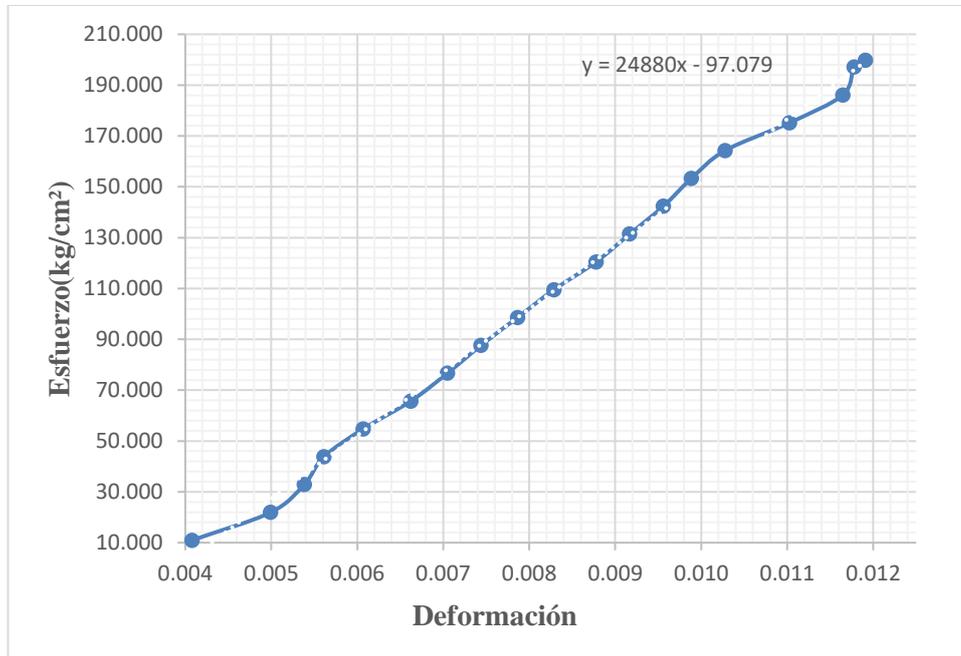


Gráfico 31 Esfuerzo VS deformación de PC-04.

Tabla 56

Ensayo resistencia a compresión de ART-05, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.1	cm.
Alt. Inicial	30.9	cm.
Área contacto	179.08	cm ² .
Edad de curado	7	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	2.42	11.168	0.008
2	4000	2.55	22.337	0.008
3	6000	2.62	33.505	0.008
4	8000	2.73	44.673	0.009

5	10000	2.81	55.841	0.009
6	12000	2.9	67.010	0.009
7	14000	2.99	78.178	0.010
8	16000	3.07	89.346	0.010
9	18000	3.15	100.515	0.010
10	20000	3.28	111.683	0.011
11	22000	3.43	122.851	0.011
12	24000	3.51	134.019	0.011
13	26000	3.63	145.188	0.012
14	28000	3.71	156.356	0.012
15	30000	3.77	167.524	0.012
16	32000	3.83	178.692	0.012
17	34000	3.9	189.861	0.013
18	36000	3.96	201.029	0.013
19	36004	3.99	201.051	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

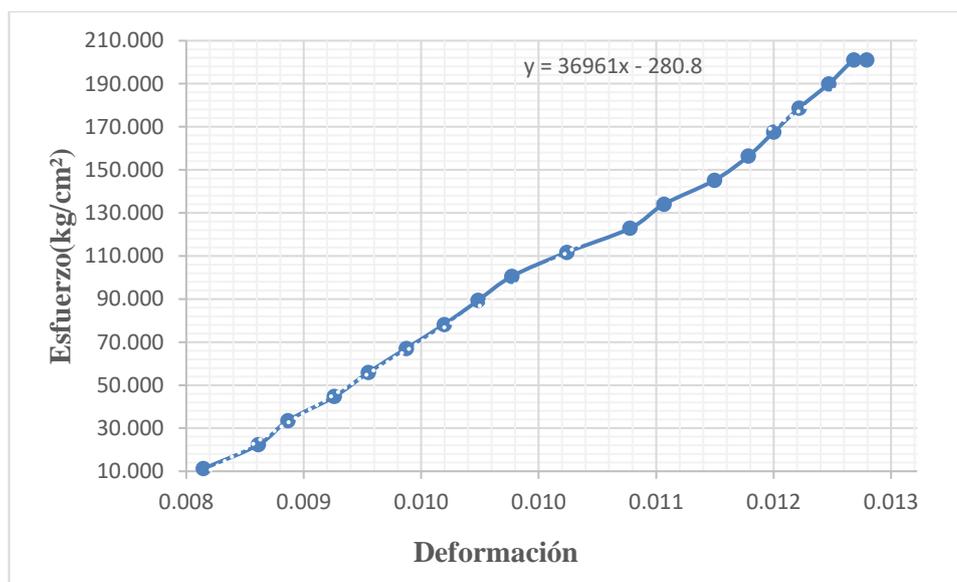


Gráfico 32 Esfuerzo VS deformación de PC-05.

Tabla 57

Ensayo resistencia a compresión de ART-06, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.2	cm.
Alt. Inicial	30.5	cm.
Área contacto	181.46	cm ² .
Edad de curado	7	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.97	11.022	0.006
2	4000	2.17	22.044	0.007
3	6000	2.28	33.065	0.007
4	8000	2.36	44.087	0.008
5	10000	2.42	55.109	0.008
6	12000	2.48	66.131	0.008
7	14000	2.54	77.153	0.008
8	16000	2.67	88.174	0.009
9	18000	2.76	99.196	0.009
10	20000	2.84	110.218	0.009
11	22000	2.95	121.240	0.010
12	24000	3.07	132.262	0.010
13	26000	3.18	143.284	0.010
14	28000	3.35	154.305	0.011
15	30000	3.48	165.327	0.011
16	32000	3.54	176.349	0.012
17	34000	3.69	187.371	0.012
18	35422	3.82	195.207	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 07 días, para un diseño de 210 kg/cm².

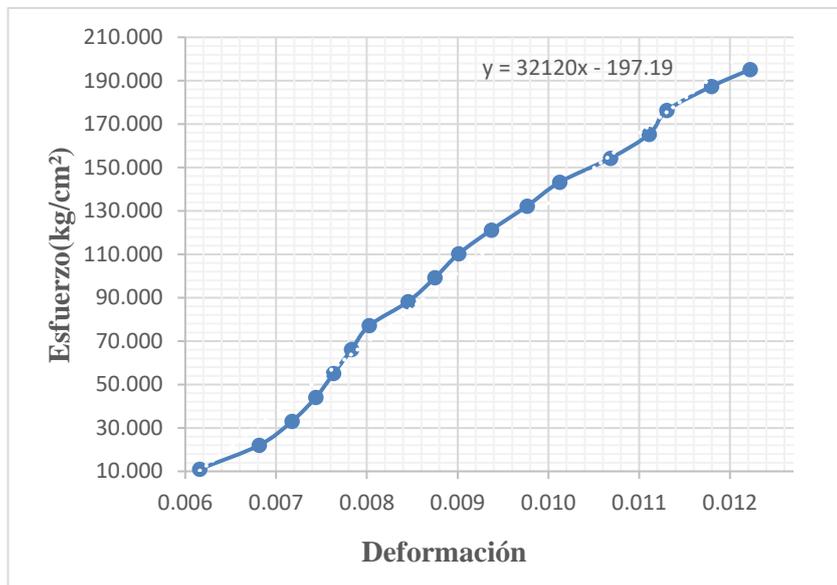


Gráfico 33 Esfuerzo VS deformación de PC-06.

Ensayos con agua residual tratada a los 14 días.

Tabla 58

Ensayo resistencia a compresión de ART-01, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.2	cm.
Alt. Inicial	30.3	cm.
Área contacto	181.46	cm ² .
Edad de curado	14	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.53	11.022	0.005
2	4000	1.78	22.044	0.006
3	6000	1.86	33.065	0.006
4	8000	1.91	44.087	0.006

5	10000	1.98	55.109	0.007
6	12000	2.07	66.131	0.007
7	14000	2.16	77.153	0.007
8	16000	2.23	88.174	0.007
9	18000	2.28	99.196	0.008
10	20000	2.37	110.218	0.008
11	22000	2.44	121.240	0.008
12	24000	2.51	132.262	0.008
13	26000	2.55	143.284	0.008
14	28000	2.61	154.305	0.009
15	30000	2.68	165.327	0.009
16	32000	2.73	176.349	0.009
17	34000	2.87	187.371	0.009
18	36000	3.07	198.393	0.010
19	38000	3.25	209.414	0.011
20	40000	3.34	220.436	0.011
21	42000	3.46	231.458	0.011
22	44000	3.54	242.480	0.012
23	46000	3.67	253.502	0.012
24	48000	3.75	264.523	0.012
25	48945	3.81	269.731	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

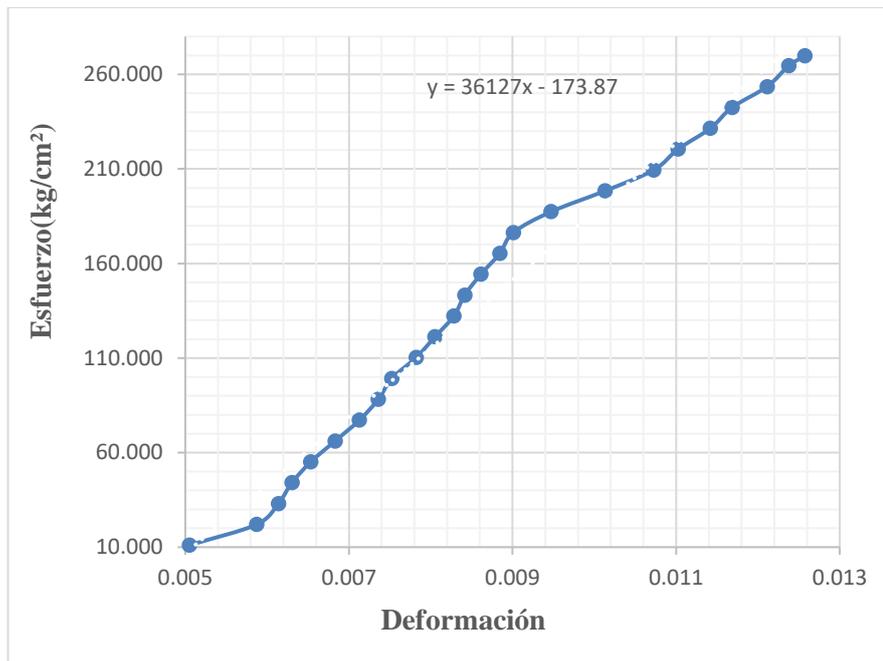


Gráfico 34 Esfuerzo VS deformación de PC-01.

Tabla 59

Ensayo resistencia a compresión de ART-02, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.98	cm.
Alt. Inicial	30.3	cm.
Área contacto	176.24	cm ² .
Edad de curado	14	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	ϵ_u
1	2000	1.95	11.348	0.006
2	4000	2.14	22.696	0.007
3	6000	2.28	34.044	0.008
4	8000	2.45	45.392	0.008
5	10000	2.61	56.740	0.009
6	12000	2.73	68.088	0.009

7	14000	2.84	79.435	0.009
8	16000	2.97	90.783	0.010
9	18000	3.1	102.131	0.010
10	20000	3.2	113.479	0.011
11	22000	3.36	124.827	0.011
12	24000	3.51	136.175	0.012
13	26000	3.61	147.523	0.012
14	28000	3.74	158.871	0.012
15	30000	3.98	170.219	0.013
16	32000	4.26	181.567	0.014
17	32790	4.46	186.049	0.015

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

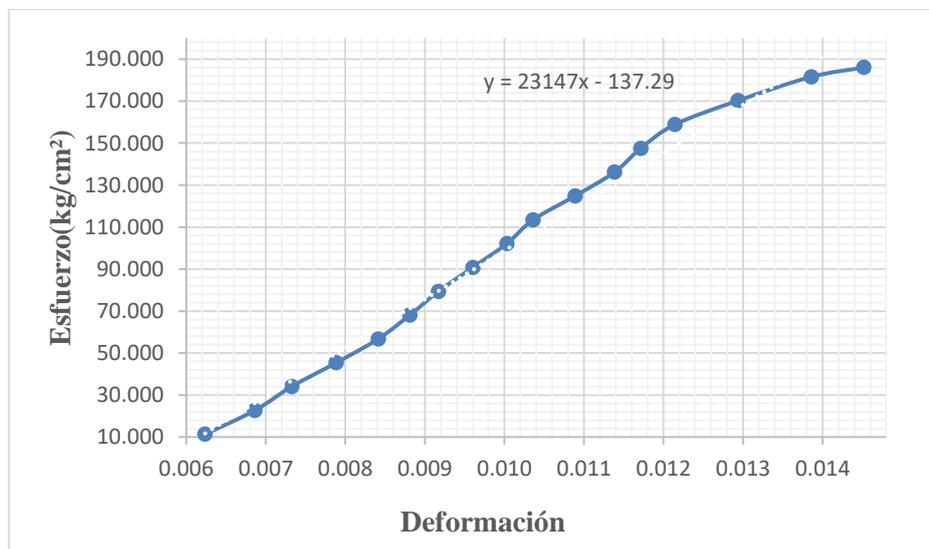


Gráfico 35 Esfuerzo VS deformación de PC-02.

Tabla 60

Ensayo resistencia a compresión de ART-03, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.23	cm.
Alt. Inicial	30.8	cm.
Área contacto	182.18	cm ² .
Edad de curado	14	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	2.58	10.978	0.008
2	4000	2.83	21.957	0.009
3	6000	2.98	32.935	0.010
4	8000	3.21	43.914	0.010
5	10000	3.35	54.892	0.011
6	12000	3.47	65.871	0.011
7	14000	3.54	76.849	0.011
8	16000	3.65	87.827	0.012
9	18000	3.74	98.806	0.012
10	20000	3.81	109.784	0.012
11	22000	3.86	120.763	0.013
12	24000	3.91	131.741	0.013
13	26000	3.96	142.720	0.013
14	28000	4.03	153.698	0.013
15	30000	4.14	164.676	0.013
16	32000	4.21	175.655	0.014
17	34000	4.28	186.633	0.014
18	36000	4.34	197.612	0.014
19	38000	4.41	208.590	0.014
20	40000	4.47	219.569	0.015
21	42000	4.57	230.547	0.015

22	44000	4.67	241.525	0.015
23	46000	4.73	252.504	0.015
24	48000	4.79	263.482	0.016
25	48542	4.81	266.458	0.016

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

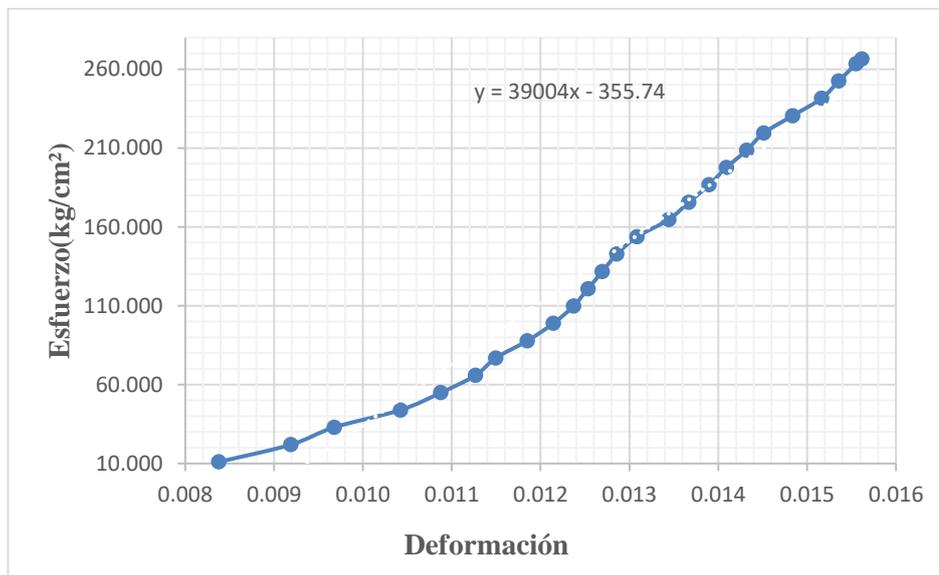


Gráfico 36 Esfuerzo VS deformación de PC-03.

Tabla 61

Ensayo resistencia a compresión de ART-04, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unida
Diámetro	15.05	cm.
Alt. Inicial	30.6	cm.
Área contacto	177.89	cm ² .
Edad de curado	14	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
----	------------	------------------	--------------------------------	----

1	2000	1.38	11.243	0.005
2	4000	1.57	22.485	0.005
3	6000	1.78	33.728	0.006
4	8000	1.87	44.970	0.006
5	10000	1.91	56.213	0.006
6	12000	1.96	67.456	0.006
7	14000	2.04	78.698	0.007
8	16000	2.13	89.941	0.007
9	18000	2.21	101.183	0.007
10	20000	2.29	112.426	0.007
11	22000	2.35	123.669	0.008
12	24000	2.41	134.911	0.008
13	26000	2.47	146.154	0.008
14	28000	2.54	157.397	0.008
15	30000	2.63	168.639	0.009
16	32000	2.74	179.882	0.009
17	34000	2.81	191.124	0.009
18	36000	2.86	202.367	0.009
19	38000	2.89	213.610	0.009
20	40000	2.93	224.852	0.010
21	42000	2.97	236.095	0.010
22	44000	3	247.337	0.010
23	46000	3.05	258.580	0.010
24	48000	3.1	269.823	0.010
25	48516	3.13	272.723	0.010

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

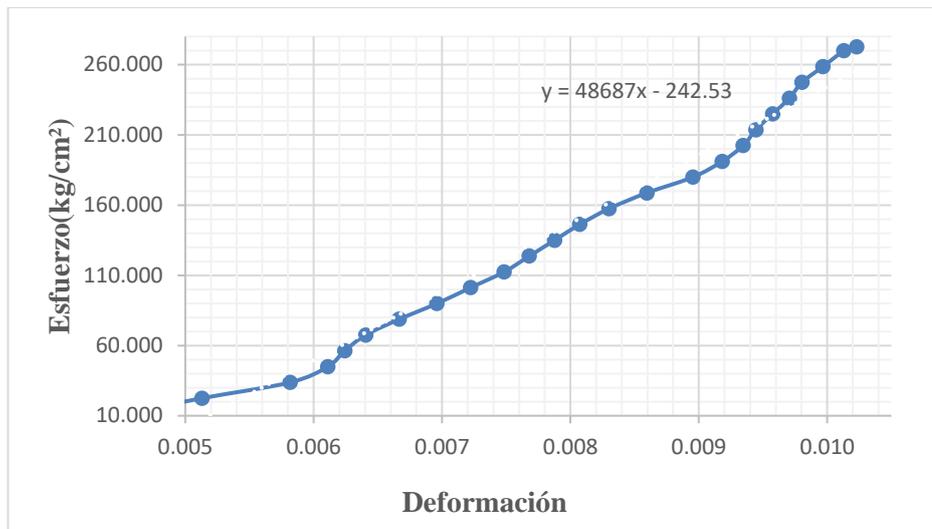


Gráfico 37 Esfuerzo VS deformación de PC-04.

Tabla 62

Ensayo resistencia a compresión de ART-05, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.18	cm.
Alt. Inicial	30.25	cm.
Área contacto	180.98	cm ² .
Edad de curado	14	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.25	11.051	0.004
2	4000	1.39	22.102	0.005
3	6000	1.55	33.153	0.005
4	8000	1.69	44.203	0.006
5	10000	1.73	55.254	0.006
6	12000	1.79	66.305	0.006
7	14000	1.89	77.356	0.006
8	16000	1.93	88.407	0.006

9	18000	1.99	99.458	0.007
10	20000	2.06	110.509	0.007
11	22000	2.1	121.560	0.007
12	24000	2.14	132.610	0.007
13	26000	2.16	143.661	0.007
14	28000	2.19	154.712	0.007
15	30000	2.23	165.763	0.007
16	32000	2.27	176.814	0.008
17	34000	2.3	187.865	0.008
18	36000	2.37	198.916	0.008
19	38000	2.45	209.967	0.008
20	40000	2.54	221.017	0.008
21	42000	2.62	232.068	0.009
22	44000	2.67	243.119	0.009
23	46000	2.7	254.170	0.009
24	48000	2.76	265.221	0.009
25	49916	2.82	275.808	0.009

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

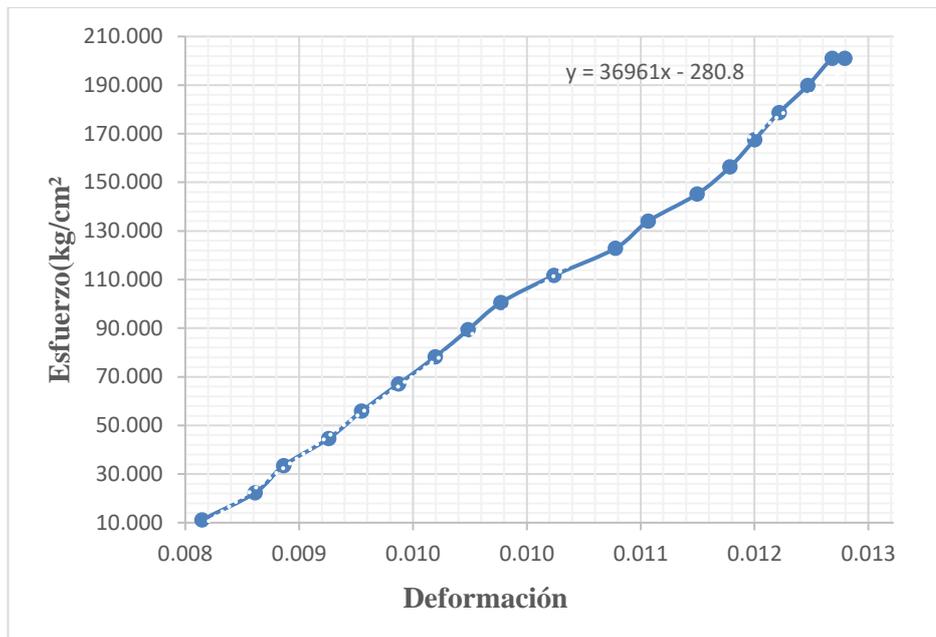


Gráfico 38 Esfuerzo VS deformación de PC-05.

Tabla 63

Ensayo resistencia a compresión de ART-06, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad			
Diámetro	15.19	cm.			
Alt. Inicial	30.65	cm.			
Área contacto	181.22	cm ² .			
Edad de curado	14	días			
N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu	
1	2000	0.97	11.036	0.003	
2	4000	1.1	22.073	0.004	
3	6000	1.21	33.109	0.004	
4	8000	1.3	44.145	0.004	
5	10000	1.46	55.182	0.005	
6	12000	1.52	66.218	0.005	
7	14000	1.6	77.254	0.005	
8	16000	1.66	88.291	0.005	

9	18000	1.71	99.327	0.006
10	20000	1.78	110.363	0.006
11	22000	1.84	121.400	0.006
12	24000	1.88	132.436	0.006
13	26000	1.93	143.472	0.006
14	28000	1.96	154.509	0.006
15	30000	2	165.545	0.007
16	32000	2.05	176.581	0.007
17	34000	2.09	187.618	0.007
18	36000	2.11	198.654	0.007
19	38000	2.14	209.690	0.007
20	40000	2.18	220.727	0.007
21	42000	2.22	231.763	0.007
22	44000	2.3	242.799	0.008
23	46000	2.35	253.836	0.008
24	48000	2.4	264.872	0.008
25	48443	2.45	267.316	0.008

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 14 días, para un diseño de 210 kg/cm².

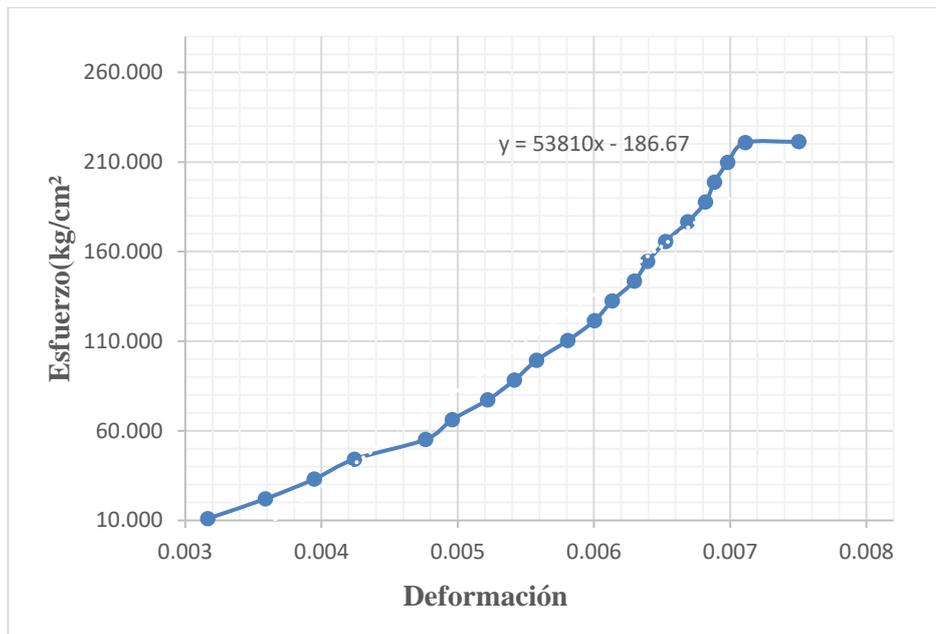


Gráfico 39 Esfuerzo VS deformación de PC-06.

Ensayos con agua residual tratada a los 28 días.

Tabla 64

Ensayo resistencia a compresión de ART-01, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.1	cm.
Alt. Inicial	30.5	cm.
Área contacto	179.08	cm ² .
Edad de curado	28	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	2.76	11.168	0.009
2	4000	3.1	22.337	0.010
3	6000	3.14	33.505	0.010

4	8000	3.24	44.673	0.011
5	10000	3.31	55.841	0.011
6	12000	3.39	67.010	0.011
7	14000	3.46	78.178	0.011
8	16000	3.55	89.346	0.012
9	18000	3.61	100.515	0.012
10	20000	3.67	111.683	0.012
11	22000	3.71	122.851	0.012
12	24000	3.76	134.019	0.012
13	26000	3.81	145.188	0.012
14	28000	3.87	156.356	0.013
15	30000	3.92	167.524	0.013
16	32000	3.93	178.692	0.013
17	34000	3.98	189.861	0.013
18	36000	4.04	201.029	0.013
19	38000	4.08	212.197	0.013
20	40000	4.12	223.366	0.014
21	42000	4.14	234.534	0.014
22	44000	4.2	245.702	0.014
23	46000	4.35	256.870	0.014
24	46386	4.4	259.026	0.014

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

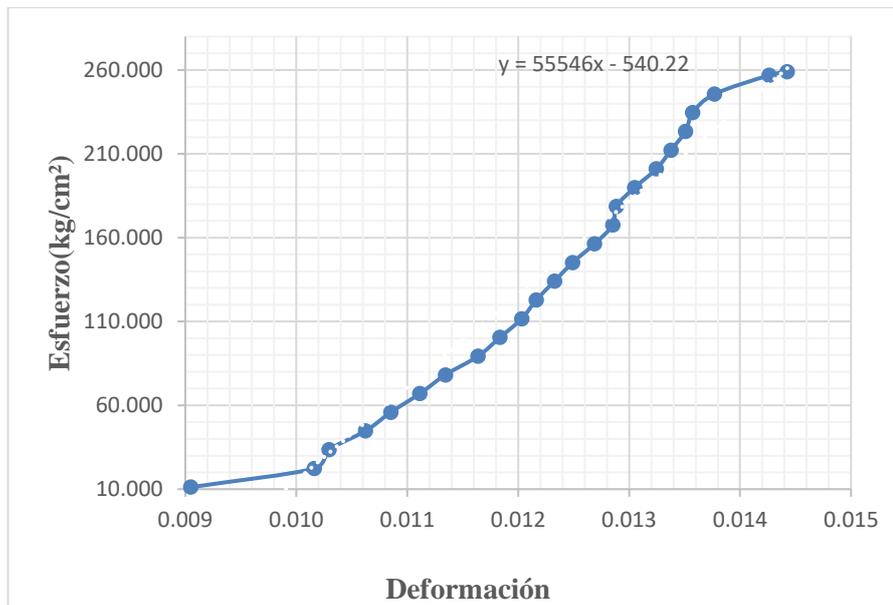


Gráfico 40 Esfuerzo VS deformación de PC-01.

Tabla 65

Ensayo resistencia a compresión de ART-02, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.25	cm.
Alt. Inicial	30.65	cm.
Área contacto	182.65	cm ² .
Edad de curado	28	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.91	10.950	0.006
2	4000	2.21	21.899	0.007
3	6000	2.37	32.849	0.008
4	8000	2.5	43.799	0.008
5	10000	2.59	54.748	0.008
6	12000	2.69	65.698	0.009
7	14000	2.76	76.648	0.009

8	16000	2.84	87.597	0.009
9	18000	2.89	98.547	0.009
10	20000	2.93	109.497	0.010
11	22000	2.95	120.446	0.010
12	24000	3	131.396	0.010
13	26000	3.05	142.346	0.010
14	28000	3.09	153.295	0.010
15	30000	3.13	164.245	0.010
16	32000	3.17	175.194	0.010
17	34000	3.21	186.144	0.010
18	36000	3.25	197.094	0.011
19	38000	3.28	208.043	0.011
20	40000	3.35	218.993	0.011
21	42000	3.4	229.943	0.011
22	44000	3.48	240.892	0.011
23	46000	3.57	251.842	0.012
24	48000	3.63	262.792	0.012
25	50000	3.73	273.741	0.012
26	52000	3.8	284.691	0.012
27	52825	3.91	289.208	0.013

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

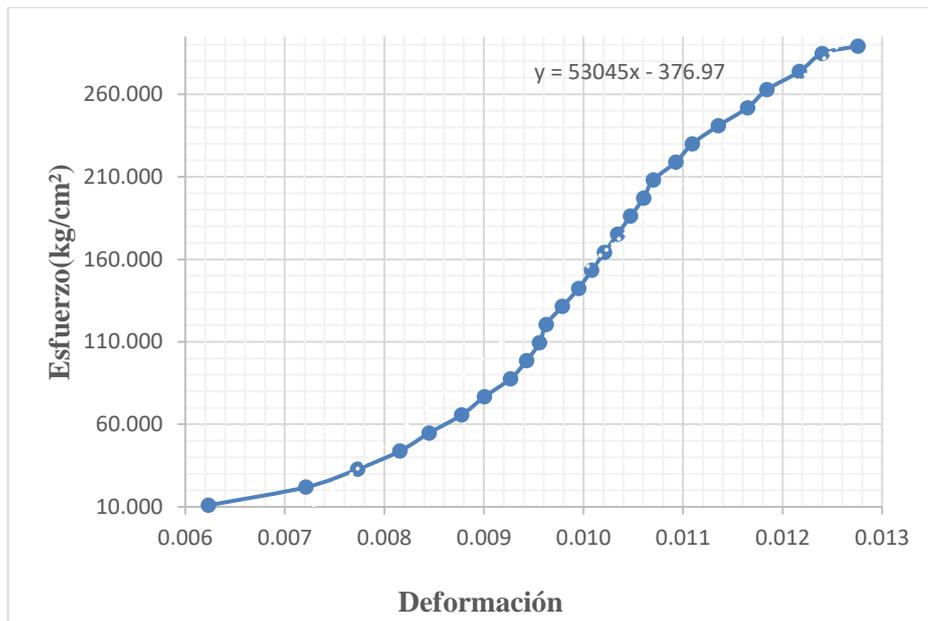


Gráfico 41 Esfuerzo VS deformación de PC-02.

Tabla 66

Ensayo resistencia a compresión de ART-03, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	14.98	cm.
Alt. Inicial	30.15	cm.
Área contacto	176.24	cm ² .
Edad de curado	28	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.2	11.348	0.004
2	4000	1.45	22.696	0.005
3	6000	1.58	34.044	0.005
4	8000	1.68	45.392	0.006
5	10000	1.79	56.740	0.006
6	12000	1.87	68.088	0.006

7	14000	1.94	79.435	0.006
8	16000	1.97	90.783	0.007
9	18000	2.05	102.131	0.007
10	20000	2.13	113.479	0.007
11	22000	2.18	124.827	0.007
12	24000	2.27	136.175	0.008
13	26000	2.4	147.523	0.008
14	28000	2.47	158.871	0.008
15	30000	2.53	170.219	0.008
16	32000	2.6	181.567	0.009
17	34000	2.68	192.915	0.009
18	36000	2.75	204.263	0.009
19	38000	2.85	215.611	0.009
20	40000	2.92	226.959	0.010
21	40962	3.11	232.417	0.010

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

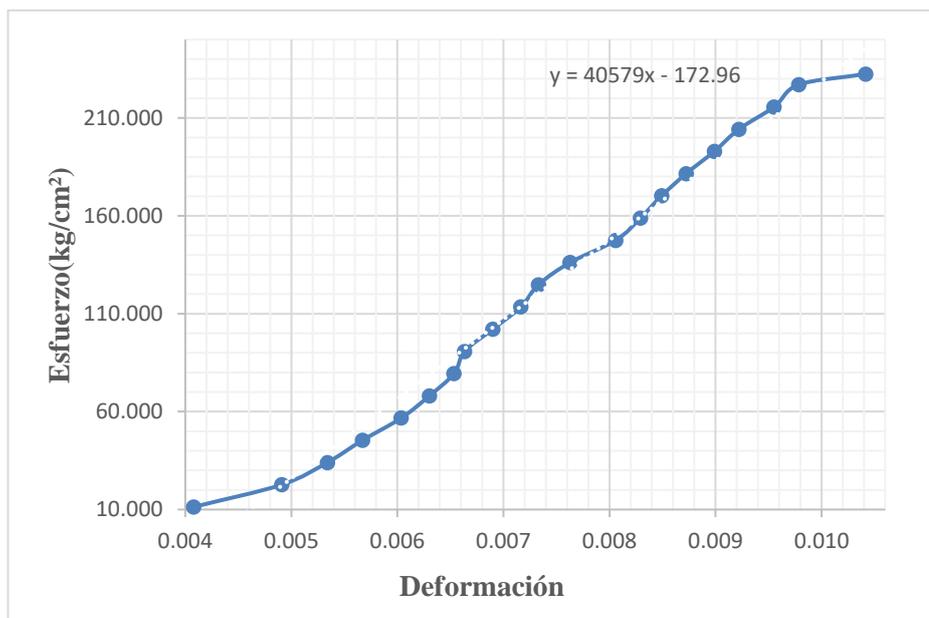


Gráfico 42 Esfuerzo VS deformación de PC-03.

Tabla 67

Ensayo resistencia a compresión de ART-04, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.2	cm.
Alt. Inicial	30.5	cm.
Área contacto	181.46	cm ² .
Edad de curado	28	Días.

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	2.57	11.022	0.008
2	4000	2.8	22.044	0.009
3	6000	2.94	33.065	0.010
4	8000	3.09	44.087	0.010
5	10000	3.18	55.109	0.010
6	12000	3.27	66.131	0.011
7	14000	3.33	77.153	0.011
8	16000	3.4	88.174	0.011
9	18000	3.47	99.196	0.011
10	20000	3.52	110.218	0.012
11	22000	3.56	121.240	0.012
12	24000	3.6	132.262	0.012
13	26000	3.64	143.284	0.012
14	28000	3.68	154.305	0.012
15	30000	3.72	165.327	0.012
16	32000	3.77	176.349	0.012
17	34000	3.81	187.371	0.012
18	36000	3.86	198.393	0.013
19	38000	3.91	209.414	0.013
20	40000	3.97	220.436	0.013
21	42000	4.04	231.458	0.013

22	44000	4.1	242.480	0.013
23	46000	4.16	253.502	0.014
24	46002	4.21	253.513	0.014

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

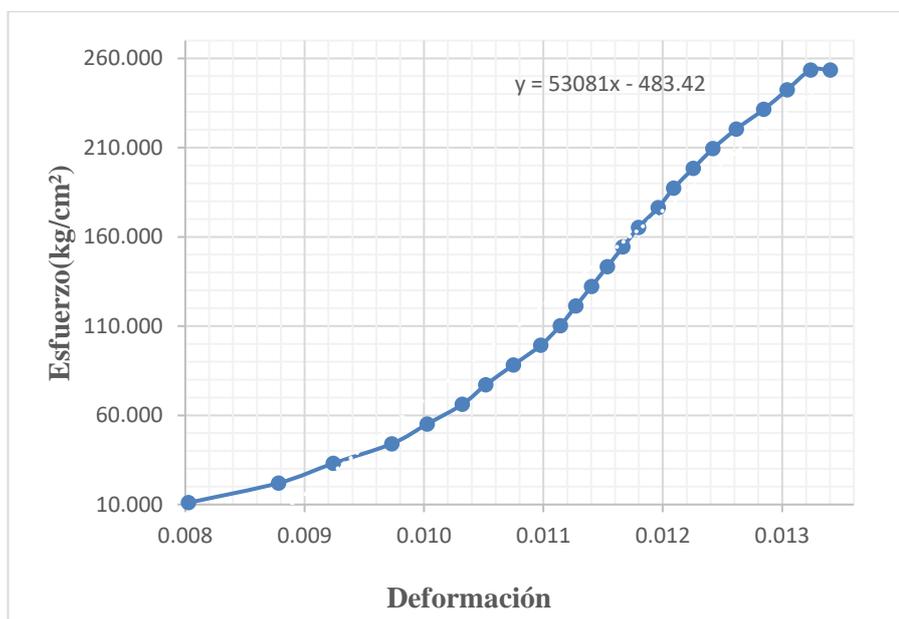


Gráfico 43 Esfuerzo VS deformación de PC-04.

Tabla 68

Ensayo resistencia a compresión de ART-05, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.18	cm.
Alt. Inicial	30.52	cm.
Área contacto	180.98	cm ² .
Edad de curado	28	días

N°	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	eu
1	2000	1.26	11.051	0.004
2	4000	1.56	22.102	0.005
3	6000	1.69	33.153	0.006
4	8000	1.8	44.203	0.006
5	10000	1.88	55.254	0.006
6	12000	1.93	66.305	0.006
7	14000	1.97	77.356	0.006
8	16000	2.04	88.407	0.007
9	18000	2.1	99.458	0.007
10	20000	2.14	110.509	0.007
11	22000	2.19	121.560	0.007
12	24000	2.23	132.610	0.007
13	26000	2.26	143.661	0.007
14	28000	2.31	154.712	0.008
15	30000	2.35	165.763	0.008
16	32000	2.4	176.814	0.008
17	34000	2.43	187.865	0.008
18	36000	2.47	198.916	0.008
19	38000	2.5	209.967	0.008
20	40000	2.54	221.017	0.008
21	42000	2.57	232.068	0.008
22	44000	2.61	243.119	0.009
23	46000	2.72	254.170	0.009
24	48000	2.75	265.221	0.009
25	50000	2.8	276.272	0.009
25	52000	2.85	287.323	0.009
25	54000	2.95	298.374	0.010
25	54632	3.05	301.866	0.010

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

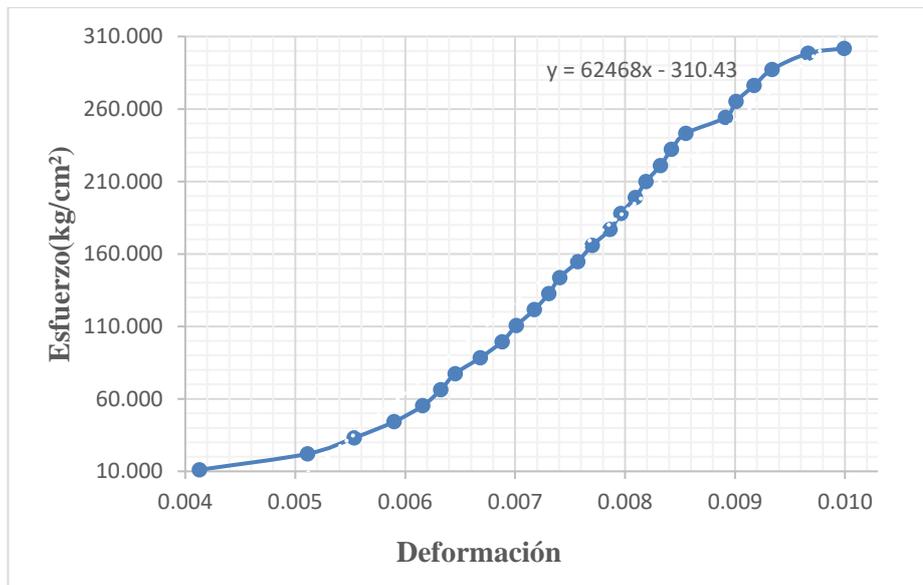


Gráfico 44 Esfuerzo VS deformación de PC-05.

Tabla 69

Ensayo resistencia a compresión de ART-06, para un diseño de 210 kg/cm².

	Medida	Unidad
Diámetro	15.05	cm.
Alt. Inicial	30.4	cm.
Área contacto	177.89	cm ² .
Edad de curado	28	días

Nº	Carga (Kg)	Deformación (mm)	σ (kg/cm ²)	ϵ
1	2000	1.5	11.243	0.005
2	4000	1.7	22.485	0.006
3	6000	1.94	33.728	0.006
4	8000	2.1	44.970	0.007
5	10000	2.16	56.213	0.007
6	12000	2.21	67.456	0.007
7	14000	2.3	78.698	0.008

8	16000	2.33	89.941	0.008
9	18000	2.41	101.183	0.008
10	20000	2.45	112.426	0.008
11	22000	2.49	123.669	0.008
12	24000	2.56	134.911	0.008
13	26000	2.63	146.154	0.009
14	28000	2.7	157.397	0.009
15	30000	2.75	168.639	0.009
16	32000	2.82	179.882	0.009
17	34000	2.9	191.124	0.010
18	36000	2.97	202.367	0.010
19	38000	3.04	213.610	0.010
20	40000	3.1	224.852	0.010
21	42000	3.15	236.095	0.010
22	44000	3.25	247.337	0.011
23	46000	3.3	258.580	0.011
24	48000	3.35	269.823	0.011
25	50000	3.45	281.065	0.011
26	52000	3.52	292.308	0.012
27	53446	3.6	300.436	0.012

Nota: Esta tabla muestra el esfuerzo de la carga ultima con agua residual tratada a los 28 días, para un diseño de 210 kg/cm².

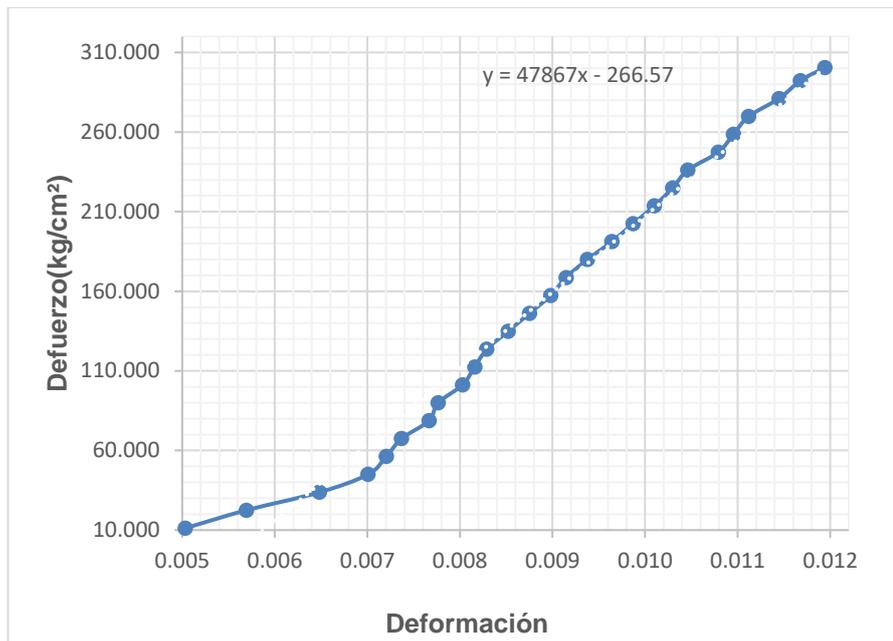


Gráfico 45 Esfuerzo VS deformación de PC-06.

Anexo 02 Diseño de mezclas

Diseño de mezcla de concreto por el método A.C.I.

Datos requeridos

CANTERA:	Roca Fuerte
METODO:	A.C.I. del comité 211
CEMENTO:	Pacasmayo Tipo I (NTP 334.009 y ASTM C150)

Datos:

Agregado fino:

Peso específico de masa:	2.42	gr/cm ³
Peso unitario Suelto seco:	1.63	gr/cm ³
Peso unitario Suelto Compactado:	1.82	gr/cm ³
Humedad natural:	7.47	%
Absorción:	3.18	%
Módulo de finura	2.69	
Partículas < #200:	2.69	%

Agregado grueso:

Perfil:	Angular	
Tamaño máximo nominal:	0.75”	
Peso específico de masa:	2.407	gr/cm ³
Peso unitario Suelto seco:	1.50	gr/cm ³
Peso unitario Suelto Compactado:	1.60	gr/cm ³
Humedad natural:	2.32	%
Absorción:	2.54	%
Módulo de finura	3.23	%

Cemento:

Peso específico:	3.12	gr/cm ³
------------------	------	--------------------

1. Determinación de la resistencia promedio

Conociendo la Resistencia de compresión de diseño (f'_c) 210 kg/cm²

f'_c	F'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$

Sobre 350 $f'c + 98$

Fuente: Comité ACI

$$f'cr = f'c + 84$$

$$f'cr = 210 + 84$$

$$f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$$

2. Tamaño máximo nominal del agregado.

$$T.M. = 3/4''$$

3. Selección del slump.

$$S = 3'' \text{ a } 4'' \text{ (seca)}$$

4. Selección del volumen unitario del agua de diseño.

Datos: T.M.N. = $3/4''$
 $S = 3'' \text{ a } 4''$

$$\text{Agua} = 205 \text{ lt./m}^3$$

5. Selección del contenido del aire atrapado.

Datos: T.M.N. = 0.75
 $S = 3'' \text{ a } 4''$

Concreto:

$$\text{Aire} = 2 \% \text{ Aire atrapado}$$

6. Selección de la relación agua - cemento (a/c).

Datos:

$$f'cr = 237 \text{ Kg/cm}^2$$

Concreto: Sin aire incorporado

Interpolando:

$$-50 \begin{bmatrix} 250 \\ 294 \\ 300 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} -44 \quad X \quad \begin{bmatrix} 0.62 \\ \text{Ra/c} \\ 0.55 \end{bmatrix} -0.1$$

$$X = \frac{-44}{\text{---}} * -0.1$$

$$X = \frac{-50}{-0.062}$$

$$Ra/c = 0.560$$

NOTA: No consideramos cálculo de relación. a/c por durabilidad ya que el concreto no estará expuesto a acción de sulfatos o procesos de congelamiento y deshielo.

7. Determinación del factor cemento.

$$\text{Factor cement} \quad F.C. = \frac{205}{0.560}$$

$$F.C. = 326.00 = 8.64 \text{ bolsas/m}^3$$

8. Determinación del contenido de agregado grueso.

Datos: T.M.N. = 3/4"
M.F.a.f. = 2.69

$$\frac{b}{b_0} = ?$$

Interpolando:

$$-0.20 \left[\begin{array}{c} 2.6 \\ 2.7 \\ 2.8 \end{array} \right] -0.09 \quad X \left[\begin{array}{c} 0.64 \\ 0.62 \end{array} \right] -0.02$$

$$X = \frac{-0.09}{-0.2} * -0.02$$

$$X = -0.00917$$

$$\frac{b}{b_0} = 0.631$$

$$\text{Peso A.G.} = 0.631 * 1.598 * 1000 \text{ Kg./m}^3 = 1008.03$$

$$\text{Peso A.G.} = 1008.03 \text{ Kg./m}^3$$

9. Determinación del volumen absoluto del agregado fino.

Mediante sumatoria de volúmenes absolutos tenemos:

Cemento	=	367.00 / 3120	=	0.118
Agua	=	205 / 1000	=	0.205
Aire	=	2 / 100	=	0.020
A.G.	=	1008.03 / 2407.16	=	0.419
Suma de volúmenes conocidos				= 0.762

Vol A.I	=	1 - 0.762
Vol A.I	=	0.240 m ³
A.F.	=	0.24 * 2.42 * 1000
A.F.	=	581.0 Kg.

10. Materiales corregidos por humedad.

$$\text{A.F.humedo} = 581 \left(100 + \frac{7.47}{100} \right) = 624.39 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{A.G.humedo} = 1008.03 \left(100 + \frac{2.32}{100} \right) = 1031.4 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua Efectiva} = 205 - \left(7.47 - \frac{3.18}{100} \right) * 581 - \left(2.322 - \frac{2.54}{100} \right) * 1008.03$$

$$\text{Agua Efectiva} = \mathbf{182.31 \text{ lt/m}^3}$$

$$\text{Volumen por tanda} = 0.0159 \text{ m}^3 \quad (3 \text{ especímenes})$$

r=	0.075	
h=	0.3	

$$\text{VOL. Total.} = \mathbf{0.0053}$$

CEMENTO	=	367 *	0.0159 =	5.84 Kg.
AGUA EFE.	=	182.31 *	0.0159 =	2.90 lt.
A.F. húmedo	=	624.39 *	0.0159 =	9.93 Kg.
A.G. húmedo	=	1031.43 *	0.0159 =	16.40 Kg.

$$\text{Dosificación} = \frac{367}{367} : \frac{624.39}{367} : \frac{1031.43}{367}$$

Dosificación = 1 : 1.70 : 2.81 / 21.11 litros / bolsa

AJUSTE DE LA MEZCLA

Datos:

Peso unitario del concreto fresco: 2205.13 Kg/m³
 Agua Añadida: 0.318 litros
 Mezcla: Sobre gravosa
 Volumen de la tanda: 0.02 m³

A. PESOS DE LOS MATERIALES POR TANDA

CEMENTO = 5.84 Kg.
 AGUA EFE. = 2.90 lt.
 A.F. húmedo = 9.93 Kg.
 A.G. húmedo = 16.40 Kg.

Peso de la tanda = 35.06 Kg.

B. Cálculo del rendimiento de la mezcla.

Ajuste por apariencia sobre gravosa

$$R = \frac{P \text{ tanda}}{P_{ucf}} = \frac{35.06}{2205.13}$$

$$R = 0.0159 \text{ m}^3$$

C. Cálculo de la cantidad de agua de mezclado.

Aporte de Agua por humedad de los agregados

A.F. = 7.47 - 3.18 = 4.29 % = 0.043
 A.G. = 2.54 - 2.32 = 0.22 % = 0.002

Aporte de Agua por humedad de los agregados

A.F. = 581.00 * 0.02 * 0.0429 = 0.499 lt/tanda
 A.G. = 1031.43 * 0.02 * 0.0022 = 0.046 lt/tanda

Agua de Mezclado por tanda

$$\begin{aligned} \text{A. mez} &= -0.318 + 0.499 + 0.0459 + 2.90 \\ \text{A. mez} &= 3.125 \text{ lt/tanda} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cálculo del agua de mezclado por m}^3 \\ \frac{3.1252}{0.01590} &= 196.56 \text{ lt/m}^3 \end{aligned}$$

D. Cálculo del nuevo contenido de cemento (Ra/c = Ctte)

$$\text{Ra/c} = 0.560$$

$$\text{Cemento} = \frac{196.56}{0.560} = 350.99 \text{ Kg/m}^3 = 8.26 \text{ bolsas/m}^3$$

F. Corrección en el agregado grueso.

Para una mezcla

$$\frac{b}{b_0} = 0.631 - 0.063 = 0.568$$

La cantidad de A.G. por m³ considerando un peso compactado de:
Peso unitario Suelto Compactado: 1597.50 kg/m³

$$\begin{aligned} \text{A.G. seco} &= 1597.5041 * 0.5679 = 907.22 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{A.G. humedo} &= 907.22 * 1.02 = 925.36 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{A.G. sss} &= 925.36 * \left(100 + \frac{2.32}{100} - 2.54 \right) = 923.3 \end{aligned}$$

G. Nuevo peso del concreto fresco

$$\text{Nuevo Pucf} = 2205.13 \text{ Kg/m}^3$$

H. Contenido del agregado fino.

$$\begin{aligned} \text{A.F.sss} &= 2205.13 - (350.992 + 196.56 + 923.30) = 734.28 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{A.F.seco} &= \frac{734}{1.03} = 711.666 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

I. Los valores de diseño serán.

$$\begin{aligned} \text{CEMENTO} &= 350.99 \text{ Kg.} \\ \text{AGUA} &= 196.56 \text{ lt.} \\ \text{A.F. seco} &= 711.666 \text{ Kg.} \\ \text{A.G. seco} &= 907.22 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

J. Cálculo de volúmenes absolutos del agregado fino.

Mediante sumatoria de volúmenes absolutos tenemos:

Cemento	=	350.99	/	3120	=	0.113
Agua	=	196.56	/	1000	=	0.197
Aire	=	2	/	100	=	0.020
A.G.	=	907.22	/	2407.16	=	0.377
Suma					=	0.706

$$\text{Vol A.F.} = 1 - 0.706$$

$$\text{Vol A.F.} = 0.294$$

$$\text{A.F.} = 0.294 * 2.42 * 1000$$

$$\text{A.F.} = 721.478 \text{ Kg.}$$

K. Materiales corregidos por humedad.

$$\text{A.F. húmedo} = \frac{712.478 (100 + 7.47)}{100} = 765.69 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{A.G. húmedo} = 907.22 - (100 + \frac{2.32}{100}) = 928.28 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{A. Efectiva} = 196.556 - (7.47 - \frac{3.18}{100}) * 712.48 - (2.2 - \frac{2.54}{100}) * 907.22 = 188.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{A. Efectiva} = 188.00 \text{ Kg./m}^3$$

Volumen por
tanda = 0.0159 m³ (3 especímenes)

CEMENTO	=	350.99	*	0.0159	=	5.581	Kg.
AGUA EFE.	=	188.00	*	0.0159	=	2.989	lt.
A.F. húmedo	=	765.69	*	0.0159	=	12.174	Kg.
A.G. húmedo	=	928.28	*	0.0159	=	14.760	Kg.

$$\text{Total} = 2232.96 \text{ kg/m}^3$$

Dosificación	=	350.99	:	765.69	:	928.28
		350.99		350.99		350.99

$$\text{Dosificación} = 1 : 2.18 : 2.64 / 22.76 \text{ litros / bolsa}$$

11. Cantidad de materiales en peso seco corregido que se necesitan en una tanda de una bolsa de Cemento.

$$\text{CEMENTO} = 42.50$$

$$\text{AGUA EFECTIVA} = 22.76$$

Kg / bolsa
lt / bolsa

AF SECO=	92.71	Kg / bolsa
AG SECO=	112.40	Kg / bolsa
	270.38	
	0.12	
	8.33	
Cemento por m ³ =	8.33	bolsas/m ³

12. factor cemento de la unidad cubica

CEMENTO=	354.17	Kg / m ³
AGUA EFECTIVA=	189.70	lt / m ³
AF SECO=	772.62	Kg / m ³
AG SECO=	936.68	Kg / m ³

13. Peso para 3 probetas de laboratorio

# de probetas	3	
volumen de probeta	0.0053	m ³
CEMENTO=	5.63	kg
AGUA EFECTIVA=	3.02	lts
AF SECO=	12.28	kg
AG SECO=	14.89	kg

14. Adicionando Porcentaje de material por desperdicios

desperdicio = 0.05		
CEMENTO=	5.91	kg
AGUA EFECTIVA=	3.17	lts
AF SECO=	12.90	kg
AG SECO=	14.89	kg
Σ =	34.45	kg

ANEXO N° 3 PANEL FOTOGRÁFICO.



Figura 1 Ubicación de la cantera Roca Fuerte.

Nota *Google Earth*, 2018.



Fotografía 1 Material extraído de cantera en distrito Baños del Inca.



Figura 2 Ubicación de la PTAR en el distrito la Encañada – Polloc.

Nota Google Earth, 2018.



Fotografía 2 Agua extraída de la PTAR del Distrito la Encañada – Polloc.



Fotografía 3 Peso de material húmedo para ensayo de contenido de humedad.



Fotografía 4 Colocación de material húmedo en estufa por 24 hrs.



Fotografía 5 Tamizado de agregado grueso por las mallas estándar.



Fotografía 6 Tamizado de agregado separado por mallas estándar.



Fotografía 7 Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado grueso.



Fotografía 8 Ensayo Peso Unitario Compactado del agregado grueso.



Fotografía 9 Lavado de agregado para ensayo que pasa por tamiz #200.



Fotografía 10 Peso sumergido de la canastilla y el agregado.



Fotografía 11 Ensayo peso específico del agregado fino.



Fotografía 12 Planta de tratamiento Encañada- Polloc.



Fotografía 13 Extracción de agua residual tratada.



Fotografía 14 Traslado de agua residual tratada.



Fotografía 15 Agua residual tratada.



Fotografía 16 Medición del agua residual tratada.



Fotografía 17 Pesado de agregados.



Fotografía 18 Ensayo de asentamiento del concreto fresco.



Fotografía 19 Elaboración de probetas cilíndricas.



Fotografía 20 Medición de diámetro y altura de probetas cilíndricas.



Fotografía 21 Rotura de probetas cilíndricas junto al laboratorista Víctor Minchan Cuzco.

Anexo 4 Análisis fisicoquímicos de la planta de tratamiento de la Encañada

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084 IE 0518274			
 INACAL DA-Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 084			
INFORME DE ENSAYO N°			
DATOS DEL CLIENTE/USUARIO			
Razon Social/Usuario	SEGUNDO PABLITO PINEDO RUIZ		
Dirección	Av. Industrial 211 - Cajamarca		
Persona de contacto	Corre electrónico	pinedo_r192@hotmail.com	
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora del Muestreo	24.05.18	Hora:	13:35
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestra	01 Muestra	N° Frascos x muestra	04
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.		
Procedencia de la Muestra:	La Encañada - Polloc		
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC - 280	Cadena de Custodia	CC - 274 - 18
N° Orden de Trabajo	0518274		
Fecha y Hora de Recepción	24.05.18	15:25	Inicio de Ensayo 24.05.18 16:00
Reporte Resultado	01.06.18	08:00	
 GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA Bigo. Ronald A. Caceda Cuba RESPONSABLE DE LA CALIDAD OSP: 4995			
CAJAMARCA, 01 de Junio de 2018.			
Página: 1 de 2			

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL

ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA

CON REGISTRO N° LE-084



IE 0518274

INFORME DE ENSAYO N°

ENSAYOS			QUÍMICOS		
Código Cliente	Muestra Patron				
Código Laboratorio	0518274-01				
Matriz de Agua	RESIDUAL				
Descripción	Industrial				
Localización de la Muestra	Encañada Polloc				
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados		
Magnesio (Mg)	mg/L	0.018	4.019		
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	65.26		
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	17.50		
pH a 25°C	pH	CNA	7.70		
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2.5	472.0		
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	38.0		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	220.7		

Mariano de la Cruz Sarmiento
Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
Analista Responsable de Química
CIP: 119544

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Totales por ICP-OES (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Ce, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Ti, Sn, Tl, V, Zn)	mg/L	EPA 200.7, Rev 4. 1994. (Validado) 2017. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B. 23 rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.C, 22 nd Ed. 2012. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C.
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D. 22 nd Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D. 22 nd Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación de los métodos, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
Los Resultados Microbiológicos <1,8, 1,0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
Código del Formato: RT1-5-10-01 Rev: N°05 Fecha : 06/06/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 01 de Junio de 2018.