

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

VALORACIÓN DE RCD Y CENIZAS VOLANTES DE BIOMASA DE PUENTE GENIL EN MORTEROS BASE CEMENTO. ESTUDIO DEL TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA E.D.A.R. DE BELMEZ

Tutores académicos: Prof. Dr. José María Fernández Rodríguez

Prof. Dr. Manuel Cruz-Yusta

Tutor industrial: Prof. Dr. José Ramón Jiménez Romero

Presentado en la ilustre

Escuela Politécnica de Belmez,

Universidad de Córdoba, España

Por el Br.:

Gosende Rondón, Rossana José

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

en la ilustre

Universidad Central de Venezuela.

Belmez, 2014

ACTA EXAMEN

Página: 1

Fecha: 18/06/2014 13:33:06

Total Alumnos: 1

Año Académico 2013/14
Convocatoria 1
Versión 1
Centro 110 Escuela Politécnica Superior de Belmez
Plan 278 Grado de Ingeniería Civil
Tipo Estudios 5 Grado
Estudios 109 Grado de Ingeniería Civil
Asignatura 101170 TRABAJO FIN DE GRADO
Tipo Asignatura 19 Trabajo fin de grado
Título Asignatura "Valoración RCD y cenizas volantes de biomasa de Puente Genil en morteros base cemento. Estudio del tratamiento y valorización de aguas residuales de la E.D.A.R. de Belmez"

N.I.A	DNI	Apellidos y Nombre	Calificación Numérica	Calificación Cualitativa
20052433	058387225	Gosende Rondón, Rossana José	9,2	SOBRESALIENTE

DOCENTES RESPONSABLES	CENTRO/DEPARTAMENTO	CARGO	FIRMAS
Pastoriza Muñoz, Javier	Ingeniería Gráfica y Geomática	PRESIDENTE	
Lopez Pineda, German	Mecánica	VOCAL	
García Morillo, Jorge	Agronomía	SECRETARIO/A	
Fernández Rodríguez, José María	Química Inorgánica e Ingeniería Química	SUPLENTE	
Zurera Díaz, Javier	Ingeniería Rural	SUPLENTE	

DEDICATORIA

A mi abuela, Juana Margarita y a mis padres, Leticia y José Manuel.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mis directores de proyecto por su tutoría. En especial a José Ramón Jiménez y a José María Fernández.

Le doy las gracias a la Ing. Ana Isabel Torres quien ha dedicado valiosas horas a este proyecto y que siempre ha estado con una sonrisa dispuesta a colaborar.

Agradezco a los técnicos de laboratorio, César Ramos y Esther por su ayuda. Igualmente al Ing. Enrique Fernández. Al personal de EMPROACSA por la amable colaboración. Y a todos aquellos que de una forma u otra han cooperado en la realización de este proyecto.

¡Gracias!

Gosende R., Rossana J.

**VALORACIÓN DE RCD Y CENIZAS VOLANTES DE BIOMASA
DE PUENTE GENIL EN MORTEROS BASE CEMENTO. ESTUDIO
DEL TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE AGUAS
RESIDUALES DE LA E.D.A.R. DE BELMEZ**

**Tutores académicos: Prof. Dr. José María Fernández Rodríguez; Prof. Dr.
Manuel Cruz-Yusta**

Tutor industrial: Prof. Dr. José Ramón Jiménez Romero

Trabajo Fin de Carrera. Córdoba España. Universidad de Córdoba.

Escuela Politécnica de Belmez, 2014.

Palabras claves: Cenizas volantes de biomasa, RCD, agua residual tratada,
morteros de albañilería.

RESUMEN

El objeto es evaluar la viabilidad técnica del uso de cenizas volantes de biomasa, residuos de construcción y demolición (RCD) y agua residual tratada como alternativa a los componentes convencionales de las mezclas de morteros.

El agua residual tratada proviene de la Estación de Depuración de Aguas Residuales de Belmez y cumple con los límites establecidos en la EHE 08. Las probetas fueron elaboradas con una dosificación en volumen cemento/árido/filler 1:6:0,5, variándose la dosis de cemento entre un 100 y 80%. Las pruebas a flexión y compresión demostraron que la resistencia depende del tipo de cemento y la dosificación. Con la máxima dosis de cemento tipo I se ha obtenido un aumento de la resistencia a compresión en torno al 20%.

Para la valorización del RCD y de las cenizas volantes de biomasa de Puente Genil, igualmente se probó con una dosificación en volumen cemento/árido/filler 1:6:0,5. El empleo de RCD y cenizas conlleva a probetas más ligeras, más permeables y con mayor variación longitudinal (retracción). La resistencia a flexión se ve más afectada por el uso de RCD, con una disminución del 15%, en relación a la utilización de cenizas, en el cual la reducción fue de un 5%. En cuanto a la resistencia a compresión, son las cenizas volantes de biomasa las que afectan en mayor medida, con una pérdida de resistencia del 30%. Mientras que el uso de RCD reduce la resistencia a compresión en un 23%.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	15
2. OBJETIVOS	17
General:	17
Específicos:.....	17
3. ANTECEDENTES	18
4. MATERIALES Y MÉTODO.....	21
Descripción de la depuración del agua residual tratada en la estación de Belmez	21
Obra de llegada	22
Bombeo de elevación	23
Desbaste:.....	24
Desarenado-Desengrasado.....	25
Medida de caudal y alivio de excesos del biológico.....	28
Tratamiento biológico.....	28
Decantación secundaria	31
Medida del caudal de agua tratada.....	33
Reutilización de agua tratada	33
Hipoclorito sódico para control biológico.....	34
Recirculación de fangos.....	34
Extracción de fangos secundarios en exceso.....	35
Espesamiento de lodos por gravedad	35
Acondicionamiento de fangos.....	36
Almacenamiento de fangos	38
Vertido	39

Instalaciones auxiliares.....	39
Electricidad e instrumentación.....	39
Caracterización del agua residual tratada.....	48
Exponente de hidrógeno pH.....	49
Sustancias disueltas.....	50
Iones sulfato.....	51
Ión cloruro:.....	57
Hidratos de carbono.....	58
Sustancias orgánicas solubles en éter.....	59
Equipos.....	60
Ensayos para el estudio de las propiedades físicas de los morteros.....	62
Materiales.....	62
Cemento.....	62
Arena natural.....	63
Agua potable.....	65
Aditivo.....	65
Residuo de construcción y demolición (RCD).....	66
Filler silíceo.....	68
Cenizas volantes de biomasa.....	68
Método.....	70
La amasadas.....	70
Consistencia.....	70
Preparación de las probetas.....	72
Determinación de la resistencia a flexión y a compresión.....	73
Retracción.....	75

Adherencia	77
Permeabilidad.....	79
Equipos.....	81
Estufa	81
Amasadora	82
Mesa de sacudidas.....	82
Mesa compactadora	83
Regla	84
Enrasador	84
Máquina electromecánica modelo electrotest -300-M02	85
Balanza	86
5. RESULTADOS	87
Caracterización del agua residual tratada.....	87
Resistencia a flexión y compresión de morteros elaborados con agua residual tratada.....	88
Resistencia a flexión y compresión de morteros elaborados con RCD y cenizas volantes de biomasa	100
Retracción morteros elaborados con RCD y cenizas volantes de biomasa	¡Error! Marcador no definido.
Permeabilidad de morteros elaborados con RCD y cenizas volantes de biomasa	135
6. CONCLUSIONES.....	159
7. REFERENCIAS.....	161
8. ÍNDICE DE TABLAS	1
9. ÍNDICE DE FIGURAS	8

8. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla . Datos de la contaminación del agua cruda de Belmez.....	19
Tabla . Datos teóricos del efluente de la EDAR de Belmez	20
Tabla 1: Valores límites para agua de amasado según EHE 08.	46
Tabla 2. Rampa de calcinación	54
Tabla 3. Componentes cemento tipo I.....	60
Tabla 4. Resultados ensayo para la determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua de la arena natural	63
Tabla 5 Resultados ensayo para la determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua del RCD.....	65
Tabla 6. Proporciones de la biomasa	67
Tabla 7. Determinaciones pH.....	85
Tabla 8. Determinaciones sustancias disueltas.....	85
Tabla 9. Determinaciones sulfatos	85
Tabla 10. Determinaciones ión cloruro.....	85
Tabla 11.Caracterización agua de amasado.....	86
Tabla 12 . Dosificaciones sustitución del agua potable por agua residual	87
Tabla 13 .Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con agua potable y cemento tipo I.....	88
Tabla 14.Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con agua potable y cemento tipo II.....	89
Tabla 15.Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con agua residual y cemento tipo I.....	90
Tabla 16 .Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con agua residual y cemento tipo II.....	91
Tabla 17. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual	92
Tabla 18. Comparación entre la resistencia a flexión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual	94
Tabla 19. Comparación entre la resistencia a compresión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual	96

Tabla 20. Dosificaciones arena natural, residuos de demolición y construcción (RCD), filler silíceo y cenizas de biomasa Puente Genil	98
Tabla 21. Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con arena natural y filler silíceo.	99
Tabla 22. Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con RCD y filler silíceo	100
Tabla 23 .Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil	101
Tabla 24. Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con RCD y cenizas de biomasa Puente Genil.....	102
Tabla 25. Resultados a flexión y compresión a los 7 días, probetas elaboradas con arena natural y filler silíceo.	103
Tabla 26. Resultados a flexión y compresión a los 7 días, probetas elaboradas con RCD y filler silíceo	104
Tabla 27. Resultados a flexión y compresión a los 7 días, probetas elaboradas con arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil	105
Tabla 28. Resultados a flexión y compresión a los 7 días, probetas elaboradas con RCD y cenizas de biomasa Puente Genil.....	106
Tabla 29. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo	107
Tabla 30. Comparación entre las resistencias a flexión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo	108
Tabla 31. Comparación entre las resistencias a compresión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo	110
Tabla 32 Dosificación mortero de arena natural y filler silíceo. Ensayo retracción	113
Tabla 33 Resultados mortero de arena natural y filler silíceo.....	114
Tabla 34 Variación longitudinal mortero de arena natural y filler silíceo.....	114
Tabla 35 Variación másica mortero de arena natural y filler silíceo	116
Tabla 36 Dosificación mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo retracción	117
Tabla 37 Resultados mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil.....	118

Tabla 38 Variación longitudinal mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil.....	118
Tabla 39 Variación másica mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil.....	120
Tabla 40 Dosificación mortero de RCD y filler silíceo. Ensayo retracción	121
Tabla 41 Resultados mortero de RCD y filler silíceo	121
Tabla 42 Variación longitudinal mortero de RCD y filler silíceo	122
Tabla 43 Variación másica mortero de RCD y filler silíceo.....	123
Tabla 44 Dosificación mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo retracción.....	124
Tabla 45 Resultados mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil ..	125
Tabla 46 Variación longitudinal mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil.....	126
Tabla 47 Variación másica mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil	127
Tabla 48 Dosificación mortero de arena natural y filler silíceo. Ensayo adherencia.....	129
Tabla 49 Resultados mortero de arena natural y filler silíceo. Ensayo adherencia.....	129
Tabla 50 Dosificación mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo adherencia	129
Tabla 51 Resultados mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo adherencia	130
Tabla 52 Dosificación mortero de RCD y filler silíceo. Ensayo adherencia	130
Tabla 53 Resultados mortero de RCD y filler silíceo. Ensayo adherencia	131
Tabla 54 Dosificación mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo adherencia.....	131
Tabla 55 Resultados mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo adherencia.....	132
Tabla 56. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo. Repetición 1	133
Tabla 57 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo. Repetición 1	134

Tabla 58. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 2	135
Tabla 59 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 2	136
Tabla 60. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 3	137
Tabla 61 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 3	138
Tabla 62. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. ..	138
Tabla 63. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 1	139
Tabla 64 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 1	140
Tabla 65. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 2	140
Tabla 66 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 2	141
Tabla 67. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 3	142
Tabla 68 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 3	143
Tabla 69. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil.	144
Tabla 70. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler síliceo. Repetición 1	144
Tabla 71 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y filler síliceo. Repetición 1	145
Tabla 72. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler síliceo . Repetición 2	146
Tabla 73 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y filler síliceo. Repetición 2	147
Tabla 74. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler síliceo. Repetición 3	148
Tabla 75 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y filler síliceo. Repetición 3	149

Tabla 76. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler silíceo	150
Tabla 77. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 1	150
Tabla 78 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y ceniza de biomasa Puente Genil. Repetición 1	151
Tabla 79. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 2.....	152
Tabla 80 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y ceniza de biomasa Puente Genil. Repetición 2	153
Tabla 81. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 3.....	154
Tabla 82 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y ceniza de biomasa Puente Genil. Repetición 3	155
Tabla 83. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil	156

9. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pozo de gruesos	19
Figura 2 Cuchara de bivalva.....	19
Figura 3. Conjunto de bombas	20
Figura 4. Tamices rotativos y tornillo sin fin.....	21
Figura 5. Sólidos compactados a la salida del tornillo sin fin	21
Figura 6 Desarenado-Desengrasado. Se observa además las tuberías de recirculación de lodos.....	22
Figura 7 clasificador de arenas	23
Figura 8 Salida del desengrador	23
Figura 9. Canal Parshall.....	24
Figura 10. Cámara anóxica	25
Figura 11. Cámara anóxica y cámara óxica	26
Figura 12 Uno de los cuatro agitadores de las cámaras óxicas	27
Figura 13. Esquema decantador secundario.....	28
Figura 14. Decantador secundario	28
Figura 15. Salida del agua clarificada	29
Figura 16 Efluente tratado.....	29
Figura 17. Control biológico.....	30
Figura 18 .3 Electrobombas sumergibles para la recirculación de lodos, 2 para la extracción de fangos en exceso y agitador para floculación.....	31
Figura 19 Espesador de lodos.....	32
Figura 20. Polielectrolito	33
Figura 21. Estación automática.....	33
Figura 22. Centrífuga para la deshidratación de lodos.....	34
Figura 23 Almacén de lodos.....	34
Figura 24. Cuadro de control de motores.....	36
Figura 25 Software SCADA.....	36
Figura 26. Ubicación EDAR Belmez.....	37

Figura 27. Planta EDAR Belmez	38
Figura 28 . Línea de agua EDAR Belmez. Parte I	39
Figura 29. Línea de agua EDAR Belmez. Parte II	40
Figura 30. Línea de agua EDAR Belmez. Parte III	41
Figura 31. Línea de agua EDAR Belmez. Parte IV.....	42
Figura 32. Línea de fango	43
Figura 33. Deshidratación de lodos.....	43
Figura 34. Disoluciones patrón comerciales.....	46
Figura 35. Residuos sólidos de una muestra de agua residual tratada.....	47
Figura 36. Añadiendo ácido clorhídrico a la muestra de agua con naranja de metilo.....	48
Figura 37. Añadiendo cloruro de bario a las muestras de agua precalentadas.....	49
Figura 38. Matraz con embudo y conectado a bomba de vacío	49
Figura 39. Papel de filtro de dimensiones y peso conocido	50
Figura 40. Contraste entre dos muestras, la de la izquierda tiene un tono blanquecino, indicador de presencia de cloruros	51
Figura 41. Disposición de los crisoles en el interior del horno.....	52
Figura 42. Ensayo de cloruros.....	54
Figura 43 ph-metro Micro pH 2001. CRISON.....	56
Figura 44. Balanza de alta precision. Mettler. German Werber S.A.	56
Figura 45. Baño de Arena	57
Figura 46. Desecador	57
Figura 47. Placa calefactora.....	57
Figura 48. Bureta.....	58
Figura 49. Proceso de cuarteo	60
Figura 50. Cuarteador	60
Figura 51. Aditivo	62
Figura 52. Granulometría del RCD, análoga a la de arena natural	63
Figura 53. Filler siliceo	64
Figura 54. Planta Puente Genil	65
Figura 55. Preparación del árido	66

Figura 56. Medición de la consistencia	68
Figura 57. Moldes ensayo flexión compresión y retracción	69
Figura 58. Ensayo a flexión	70
Figura 59. Ensayo a compresión	70
Figura 60. Resultados flexión	71
Figura 61. Ensayo retracción	72
Figura 62. Ensayo adherencia	74
Figura 63. Ensayo permeabilidad	77
Figura 64. Amasadora	78
Figura 65. Mesa sacudidas	79
Figura 66. Mesa compactadora	80
Figura 67. Enrasador	80
Figura 68. Máquina electromecánica	82
Figura 69. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo I	90
Figura 70. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo II	91
Figura 71. Comparación entre la resistencia a flexión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo I	92
Figura 72. Comparación entre la resistencia a flexión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo II	93
Figura 73. Comparación entre la resistencia a compresión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo I	94
Figura 74. Comparación entre la resistencia a compresión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo II	95
Figura 75. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 28 días....	105
Figura 76. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 7 días.....	106

Figura 77 comparación entre las resistencias a flexión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 28 días	107
Figura 78. Comparación entre las resistencias a flexión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 7 días.	107
Figura 79. Comparación entre las resistencias a compresión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 28 días	108
Figura 80. Comparación entre las resistencias a compresión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 7 días	109
Figura 82. Evolución de la resistencia a flexión de los morteros	109
Figura 83. Evolución de la resistencia a tracción de los morteros.....	110
Figura 84 Variación longitudinal mortero de arena natural y filler silíceo	113
Figura 85 Variación másica mortero de arena natural y filler silíceo	114
Figura 86 Variación longitudinal mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil.....	117
Figura 87 Variación másica mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil.....	118
Figura 88 Variación longitudinal mortero de RCD y filler silíceo.....	120
Figura 89 Variación másica mortero de RCD y filler silíceo.....	121
Figura 90 Variación longitudinal mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil	124
Figura 91 Variación másica mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil.....	125
Figura 92 Comparación retracción de los morteros.....	126
Figura 93 Comparación variación másica de los morteros.....	126
Figura 94 Comparación adherencia de los morteros.....	130
Figura 95. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo. Repetición 1	132
Figura 96. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo. Repetición 2	134

Figura 97. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo. Repetición 3	135
Figura 98. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 1	137
Figura 99. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 2	139
Figura 100. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 3	141
Figura 101. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler silíceo . Repetición 1	143
Figura 102. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler silíceo . Repetición 2	145
Figura 103. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler silíceo . Repetición 3	147
Figura 104. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 1.....	149
Figura 105. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 2.....	151
Figura 106. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 3.....	153
Figura 107 Comparación coeficiente de permeabilidad de los morteros	154

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años hemos comprendido que nuestro ritmo de consumo podría comprometer seriamente la calidad de vida de las próximas generaciones. Es por ello que adoptamos una nueva filosofía, el desarrollo sostenible. Para poner en práctica este concepto se ha hecho indispensable el estudio de materiales alternativos que sean más amigables con el ambiente. Una opción que resulta atractiva es emplear residuos industriales en actividades relacionadas a la construcción. Lo atrayente de esta idea son las ingentes cantidades de material que consume el sector y la gran gama de calidades que permite. Cuando hablamos de materiales resaltan aquellos elaborados a partir del cemento: hormigones y morteros. El presente estudio se centra en evaluar alternativas a los componentes convencionales de las mezclas de morteros.

Los morteros están constituidos por áridos finos, algún conglomerante de actividad puzolanica y desde luego agua, indispensable para la hidratación de las partículas y la formación de cristales resistentes. Los componentes tradicionales son: arena natural, cemento y agua potable.

La norma española (EHE-08) permite sustituir hasta un 20% el árido natural por la fracción gruesa ($> 4\text{mm}$) de árido reciclado a la hora de fabricar hormigón convencional. Sin embargo, prohíbe utilizar la fracción fina del reciclado debido a la alta capacidad de absorción de agua y a la probabilidad de que contenga impurezas. No obstante, se está evaluando la posibilidad de implementar estos finos provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) en materiales no estructurales, como lo son los morteros de albañilería.

Por otra parte, el contenido de sílice de algunas cenizas ha despertado el interés en su actividad puzolanica, por lo que se ha estudiado la factibilidad de que estas sustituyan parcialmente el filler en las mezclas de mortero. Los orígenes de las cenizas son prácticamente infinitos. Conviene probar aquellas que resulten de actividades que se realicen en la localidad para no encarecer la

mezcla. Estando en Andalucía, nos resulta sugestivo evaluar las cenizas volantes de biomasa que derivan de la industria olivarera. Con la valoración de estos dos residuos, RCD y cenizas, se podría reducir la explotación en canteras, evitar la ocupación de vertederos y disminuir las emisiones a la atmosfera.

En sustitución al agua potable se nos presenta una alternativa que no precisamente es un residuo: el agua residual tratada. Esta opción no solo reduciría el consumo de agua potable, sino que podría ser una alternativa potencialmente atractiva en las regiones donde el recurso hídrico es insuficiente.

Cada una de estas opciones debe ser estudiada para verificar su factibilidad técnica. Y si bien la expectativa no es mejorar las propiedades físicas, los morteros deben cumplir con ciertos parámetros que garanticen su adecuado comportamiento.

2. OBJETIVOS

General:

Evaluar la viabilidad técnica del uso de cenizas volantes de biomasa, residuos de construcción y demolición (RCD) y agua residual tratada como alternativa a los componentes convencionales de las mezclas de morteros.

Específicos:

- Describir el esquema de funcionamiento de la Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) de Belmez.
- Comparar los parámetros químicos del agua residual tratada con los especificados en la norma EHE 08 para el agua de amasado.
- Describir el comportamiento mecánico de morteros endurecidos elaborados con agua residual tratada
- Definir las propiedades físicas de morteros fabricados con cenizas volantes de biomasa y RCD en sustitución del cemento y la arena natural.

3. MARCO REFERENCIAL

Gran número de investigaciones han sido orientadas a reemplazar, total o parcialmente, los principales componentes del hormigón o de morteros con residuos. Esto con la finalidad de hacer de la construcción una actividad menos agresiva con el medio ambiente.

Como sustituto del cemento se han empleado cenizas de distintas naturalezas. Siendo común los ensayos con cenizas volantes de biomasa.

Diversos estudios convergen en la actividad puzolánica de las cenizas. No obstante, la cinética de esta actividad es muy lenta lo que restringe el uso práctico de estos residuos como material conglomerante. Esto se ve corroborado en la disminución de la resistencia a compresión y a flexión de los morteros con mayor porcentaje de sustitución de cemento por ceniza. La resistencia puede verse afectada además por el incremento del requerimiento de agua ocasionado por las cenizas. La forma irregular de estas, la finura, una mayor área de superficie y el contenido orgánico son los responsables de este aumento (1).

El porcentaje óptimo de sustitución del cemento, en peso, dependerá del tipo de ceniza. En un estudio realizado por el Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Córdoba este porcentaje es de tan solo un 10% (2). En otro realizado en la Universidad de Aveiro en Portugal, este valor asciende a un 20% (1). Este mismo estudio señala el aumento de la porosidad de las probetas pero la disminución del diámetro de los poros, lo mismos resultados que ha arrojado un proyecto realizado en Tailandia (3). Según los resultados obtenidos de las investigaciones de universidades de Italia y Estados Unidos (4), la adición de ceniza reduce la capacidad de absorción inicial, efecto que se incrementa con mayor porcentaje de sustitución. De acuerdo a los autores, los valores de absorciones bajas son probablemente debido a la disminución de la hidratación del cemento y mayor porosidad que reduce la capacidad del material para llevar el agua por succión capilar.

En cuanto a la arena, esta puede ser reemplazada por residuos de construcción y demolición (RCD). El uso de este agregado, más ligero, disminuye la resistencia a la compresión y a la tracción, aumenta la capilaridad del mortero, incrementa la variación longitudinal (ensayo de retracción) así como disminuye la adherencia, de acuerdo a las conclusiones de la Ingeniera Torres Gómez de la UCO (5). Alta absorción y elevado contenido de sulfatos, indica un artículo de la revista Materiales de Construcción del 2009 (6). De este estudio se establece que los morteros de albañilería pueden incorporar un 25% como máximo de árido reciclado sin evidenciar pérdidas significativas de prestaciones. En un estudio de la Universidad de Catalunya (8) se recomienda que el árido este en condición de saturado con superficie seca, precisamente por evitar la alta absorción. De acuerdo a un artículo de la Revista Cubana de Ingeniería (7) las prestaciones de los RCD dependerán de cómo fueron obtenidos, si por trituración de las partículas gruesas o por tamizado, siendo los primeros los que arrojan mejores resultados.

Finalmente una idea que se ha puesto a prueba en varios países es sustituir el agua de amasado, que suele ser potable, por agua residual tratada. En los casos en que el efluente estuvo dentro de los parámetros indicados por las respectivas normas para el agua de amasado, los resultados fueron satisfactorios. Este es el caso de un estudio realizado en Malasya (9) donde el agua residual provenía de la industria pesada, un molino de aceite de palma y aguas residuales domésticas. Igual de gratos, los resultados en Iraq (10) en que incluso se obtuvieron resistencias superiores a la de control con un efluente de aguas residuales industriales. Sin embargo en Egipto (11) los resultados no fueron tan gratificantes, se concluyó que solo era conveniente sustituir el agua en un 20%, pues las características del efluente no se encontraban dentro de los parámetros permisibles para el agua de amasado. En la Universidad Central de Venezuela se ha abierto una línea de investigación sobre el tema. Las primeras conclusiones indican que se pueden obtener resultados aceptables si las características están dentro de los

parámetros para agua de amasado, si se controlan los nitratos presentes en el agua y si además se emplea un cemento bajo en silicato tricálcico (12). En México se analizaron los efluentes de distintas plantas (13), para algunos casos se obtuvieron incrementos de la resistencia mientras que otros dieron resistencias inferiores, lo cual atribuyeron a la presencia de grasas y aceites en las muestras.

La primera impresión nos da pocas expectativas sobre el uso de cenizas y RCD como alternativas, siendo los resultados del uso de agua residual tratada más alentadores. Sin embargo resaltamos que con estas investigaciones no se busca exclusivamente una mejora de las propiedades físicas de los morteros, sino también hacer mezclas más amigables con el medio ambiente sin comprometer su desempeño en la obra.

4. MATERIALES Y MÉTODO

Descripción de la depuración del agua residual tratada en la estación de Belmez

Datos:

Empresa encargada de la explotación: Empresa Provincial de Aguas de Córdoba (EMPROACSA)

Locación: Belmez, Córdoba.

Año: 2010

Habitantes: 3466

Habitantes equivalentes: 5380

Dotación: 200 l/hab-eq/día

Caudal: 3145 m³/día

Caudal máximo: 178,33 m³/h

Características de la contaminación:

Tabla . Datos de la contaminación del agua cruda de Belmez

DBO ₅	300,00	mg/l
	322,80	kg/día
SS	250,00	mg/l
	269,00	kg/día
NTK	32,20	mg/l
	34,65	kg/día
Fósforo total	8,75	mg/l
	9,42	kg/día

Resultados a obtener:

Tabla . Datos teóricos del efluente de la EDAR de Belmez

EFLUENTE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	
DBO ₅	≤ 25 mg/l
Sólidos en suspensión	≤ 35 mg/l
Nt	≤ 15 mg/l
Pt	≤ 2 mg/l
FANGO ESTABILIZADO	
Estabilidad (% MV)	< 65%
Sequedad fango deshidratado (%MS)	20%

Tipo de tratamiento: Aireación prolongada

Presupuesto de ejecución por contrata: 1.880.827,05 euros

Una de las características importante que se consideró durante el diseño de la EDAR fue que se trata de una población pequeña. Debido a la poca inercia existente, las variaciones diarias de carga contaminante son más acusadas que en poblaciones de mayor tamaño, donde existe un mayor volumen crítico donde "diluir" los vertidos diarios. Del mismo modo, las poblaciones pequeñas presentan una gran sensibilidad ante la aparición de vertidos correspondientes a la apertura de nuevas industrias o instalaciones, ya que su vertido es muy significativo con respecto al total de la población. Es por ello que el diseño debe presentar marcados márgenes de seguridad.

La EDAR de Belmez cuenta con dos líneas idénticas de tratamiento. Actualmente se emplea el 50% de su capacidad.

Obra de llegada

Consta de un pozo de gruesos con retirada de residuos a contenedor mediante cuchara bivalva de 50l, esto para proteger los equipos de bombeo. El predesbaste consiste en una reja de limpieza manual a la salida del pozo de gruesos.



Figura 1 Pozo de gruesos



Figura 2 Cuchara de bivalva

Bombeo de elevación

El agua es elevada hasta el desbaste mediante tres bombas sumergibles controladas por un convertidor de frecuencia y un sensor ultrasónico de nivel.



Figura 3. Conjunto de bombas

Desbaste:

Consta de dos (2) tamices rotativos autolimpiantes, con retirada de residuos a contenedor mediante tornillo transportador-compactador. Los tamices elegidos tienen una **luz de malla de 1,5 mm**, por lo que se producirá también una reducción en los sólidos en suspensión que llegan a la E.D.A.R., y por tanto una reducción en la DBO_5 , que entrará al tratamiento biológico.



Figura 4. Tamices rotativos y tornillo sin fin.



Figura 5. Sólidos compactados a la salida del tornillo sin fin

Desarenado-Desengrasado

Se ha adoptado un proceso de desarenado-desengrasado constituido por un (1) canal prismático troncopiramidal aireado. Las arenas son extraídas del fondo del recinto y bombeadas a un **clasificador de**

arenas de tipo tornillo sinfín compacto y desde dicho equipo, se vierten, una vez concentradas, a un contenedor de 240 litros. El **desemulsionado** de grasas se realiza mediante insuflación de aire. El aire necesario es aportado mediante una (1) **turbina de microburbujas** sumergibles que garantizan los niveles de agitación necesarios. Las grasas y los sobrenadantes son barridos por las rasquetas superficiales y conducidas al **concentrador de grasas** compacto, y de ahí a un contenedor de 240 l, para ser evacuadas posteriormente fuera de la E.D.A.R.



Figura 6 Desarenado-Desengrasado. Se observa además las tuberías de recirculación de lodos



Figura 7 clasificador de arenas



Figura 8 Salida del desengrador

Medida de caudal y alivio de excesos del biológico

El agua una vez desbastada y desarenada-desengrasada pasará a un **canal tipo Parshall** cuya misión es doble: por un lado medir el caudal que pasará al tratamiento biológico mediante **un medidor de caudal ultrasónico** instalado en dicho canal, y por otro restringir el caudal que pasará al tratamiento secundario aliviando los excesos por el aliviadero construido aguas arriba del canal. El canal Parshall, como elemento de regulación del flujo de agua, ofrece un paso libre que evita la formación de depósitos y minimiza la posibilidad de atascamiento, simplificando las labores de limpieza y mantenimiento. El canal tiene una garganta de 76,20 mm (3”), teniendo un rango de medida desde 3,00 m³/h a 275,00 m³/h. Aguas abajo del canal Parshall, se instalará una arqueta donde se producirá el reparto de caudales por medio de vertederos que permitirán el equirreparto a las dos (2) líneas biológicas.



Figura 9. Canal Parshall

Tratamiento biológico

El objetivo principal del proceso biológico es la oxidación de la materia orgánica hasta CO₂ y H₂O por medio de microorganismos (sobre todo bacterias y protozoos). La transformación de las materias coloidales y disueltas dará lugar al crecimiento de estos microorganismos. Las bacterias y los protozoos se agregan formando el floculo, estructura

fácilmente sedimentable, que se recogerá en el decantador secundario. Los reactores biológicos considerados han sido dimensionados para una edad de lodos que garantice tanto la estabilización de los lodos, como la estabilidad de los procesos de nitrificación-desnitrificación. Se consideran en cada reactor una zona óxica y otra zona anóxica, totalmente independientes. Esta configuración se ha preferido a la de tipo canal de oxidación, porque se garantiza con mayor seguridad el control de la nitrificación-desnitrificación, y los fenómenos de Bulking (esponjamiento del lodo), al minimizarse la formación de organismos filamentosos menos competitivos que los floculantes en la cámara anóxica. Esto es particularmente indispensable cuando se tienen valores de alcalinidad bajos. Para asegurar que los fangos no se sedimenten en la cámara anóxica se dispone de dos (2), uno por cámara, agitadores sumergibles. Para mantener una agitación en la cámara óxica se dispone de cuatro, dos por cámara, agitadores sumergibles que inyectan oxígeno al líquido.



Figura 10. Cámara anóxica



Figura 11. Cámara anóxica y cámara óxica

Nótese en la figura el sutil movimiento del agua en la cámara anóxica en comparación con el agitación en la cámara óxica.



Figura 12 Uno de los cuatro agitadores de las cámaras óxicas

En la arqueta de salida se realiza la dosificación de cloruro férrico para la Desfosfatación. La producción diaria de lodos es, por tanto, la suma de los lodos biológicos generados en el proceso más los lodos químicos provocados por la desfosfatación (un incremento del volumen de los reactores en el entorno del 15 %.).

Decantación secundaria

La decantación secundaria se efectúa en dos (2) recintos circulares de 8,70 m de diámetro y un calado de 4,00 m. La entrada del agua al decantador se produce por la parte inferior, a través de una conducción central que conecta con el cilindro de distribución uniforme del flujo, que obliga al agua a seguir un movimiento descendente, de tal forma que su baja velocidad no produzca alteraciones en la superficie de la lámina de agua.

El decantador irá provisto de rasquetas barredoras de fondo que arrastrarán los sólidos sedimentables hacia la cavidad central para su eliminación periódica, conduciéndolos hacia la recirculación o hacia el

espesado. El decantador llevará también mecanismos de recogida de flotantes para su envío a la red de sobrenadantes que serán conducidos por gravedad a bombeo de entrada.

El agua decantada saldrá a través del vertedero perimetral dotado de pantalla deflectora, y de aquí al recinto de cloración.

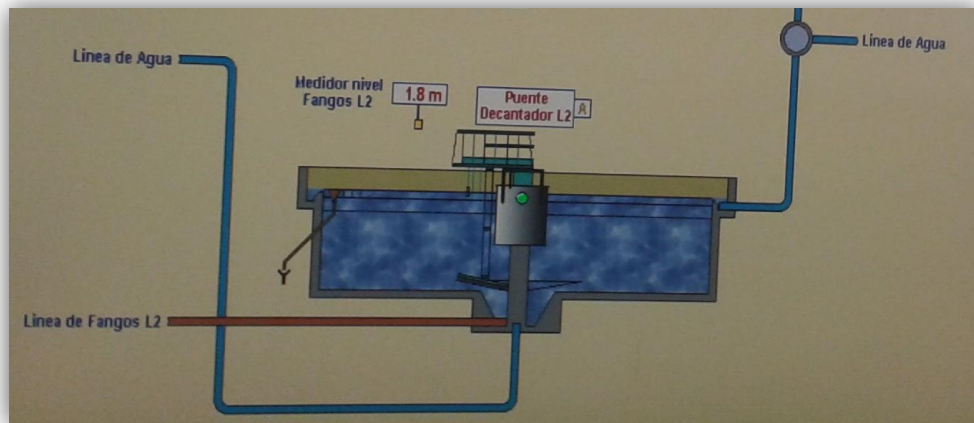


Figura 13. Esquema decantador secundario



Figura 14. Decantador secundario

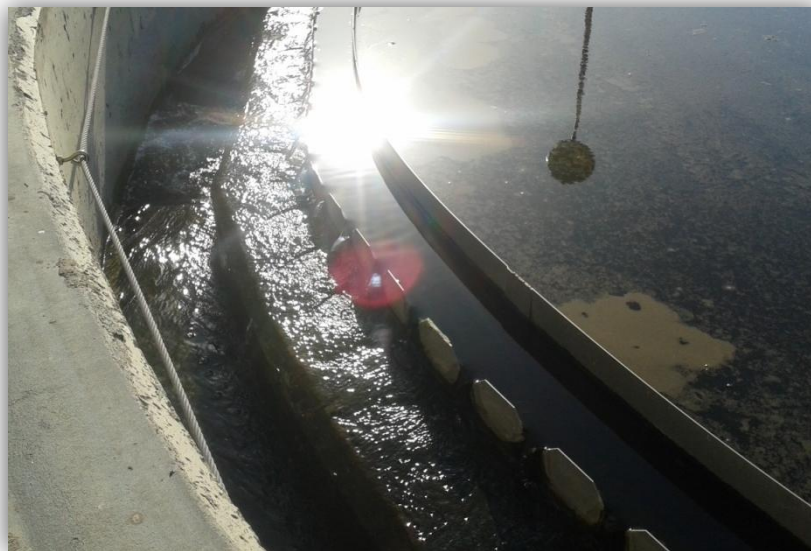


Figura 15. Salida del agua clarificada

Medida del caudal de agua tratada

En tubería de salida mediante caudalímetro electromagnético.



Figura 16 Efluente tratado

Reutilización de agua tratada

Para agua de servicios, con filtro autolimpiante y equipo de presión.

Hipoclorito sódico para control biológico

Para contribuir a combatir durante la explotación posibles episodios de microorganismos filamentosos (bulking) o exceso de espumas (foaming), se prevé un sistema de dosificación de agua clorada. Normalmente este sistema está en desuso.



Figura 17. Control biológico

Recirculación de fangos

Para conseguir la oxidación de la materia orgánica carbonosa y la eliminación del nitrógeno hay que mantener unas concentraciones altas de microorganismos en los reactores biológicos. Para conseguir estas concentraciones de microorganismos en el reactor biológico se necesita la recirculación de los fangos secundarios recogidos en el decantador, purgándose el exceso de los mismos y concentrándose en el espesador por gravedad para su posterior deshidratación y evacuación de la E.D.A.R biológicos desde dos (2) pozos independientes (uno (1) por línea). En cada pozo se instalarán tres (3) electrobombas sumergibles para la recirculación de lodos a los reactores.



Figura 18 .3 Electrobombas sumergibles para la recirculación de lodos, 2 para la extracción de fangos en exceso y agitador para floculación.

Extracción de fangos secundarios en exceso

Desde dos (2) pozos independientes. En cada pozo se instalarán dos (2) electrobombas sumergibles para la extracción de los fangos secundarios. Las bombas utilizadas serán independientes de las empleadas para la recirculación de los lodos.

Espesamiento de lodos por gravedad

Doble misión: espesar los lodos procedentes de los decantadores secundarios, y servir de almacén de lodos espesados para absorber las paradas de la deshidratación, tanto en la actualidad como en el futuro.



Figura 19 Espesador de lodos

Acondicionamiento de fangos

Para la deshidratación de los lodos se realiza la dosificación de polielectrolito que se prepara en un equipo automático y compacto. La dosis media de polielectrolito es de 5,00 kg/Tn de materia seca. La solución de polielectrolito se preparará en una estación automática de 500 l/h. Los lodos deshidratados se retirarán de la centrífuga – decantadora por medio de una (1) bomba de tornillo helicoidal capaz de evacuar 1,25 m³/h, y serán transportados hasta el contenedor de almacenamiento situada en el exterior de la sala de deshidratación.



Figura 20. Polielectrolito



Figura 21. Estación automática



Figura 22. Centrífuga para la deshidratación de lodos

Almacenamiento de fangos

Se realizará en un contenedor metálico de 5 m³ de capacidad. Se garantiza el almacenamiento del fango por un periodo mínimo de 2 días. Actualmente la frecuencia con que debe ser vaciado el contenedor es dos veces por mes.



Figura 23 Almacén de lodos

Vertido

Cauce del río Guadiato

Instalaciones auxiliares

- Red de conducciones interiores de by-pass, sobrenadantes, vaciados, agua potable y agua de servicio y riego.
- Edificio de Control y Deshidratación.
- Urbanización y jardinería de la parcela

Electricidad e instrumentación

- Automatización y control del funcionamiento de la E.D.A.R. mediante autómatas programables y PC, con software SCADA y red de comunicación Ethernet.
- Instrumentación de proceso:
 - * Detector de colmatación en tamices.
 - * Medidor de nivel de fangos en decantación.
 - * Medidor de caudal ultrasónico en canal Parshall.
 - * Medidores electromagnéticos de caudal de agua bruta, agua tratada, fangos recirculados, fangos en exceso y fangos espesados a deshidratación.
 - * Medidor de oxígeno disuelto.
 - * Medidor de pH y temperatura del agua bruta.
 - * Electrosondas de nivel en los bombeos.



Figura 24. Cuadro de control de motores



Figura 25 Software SCADA

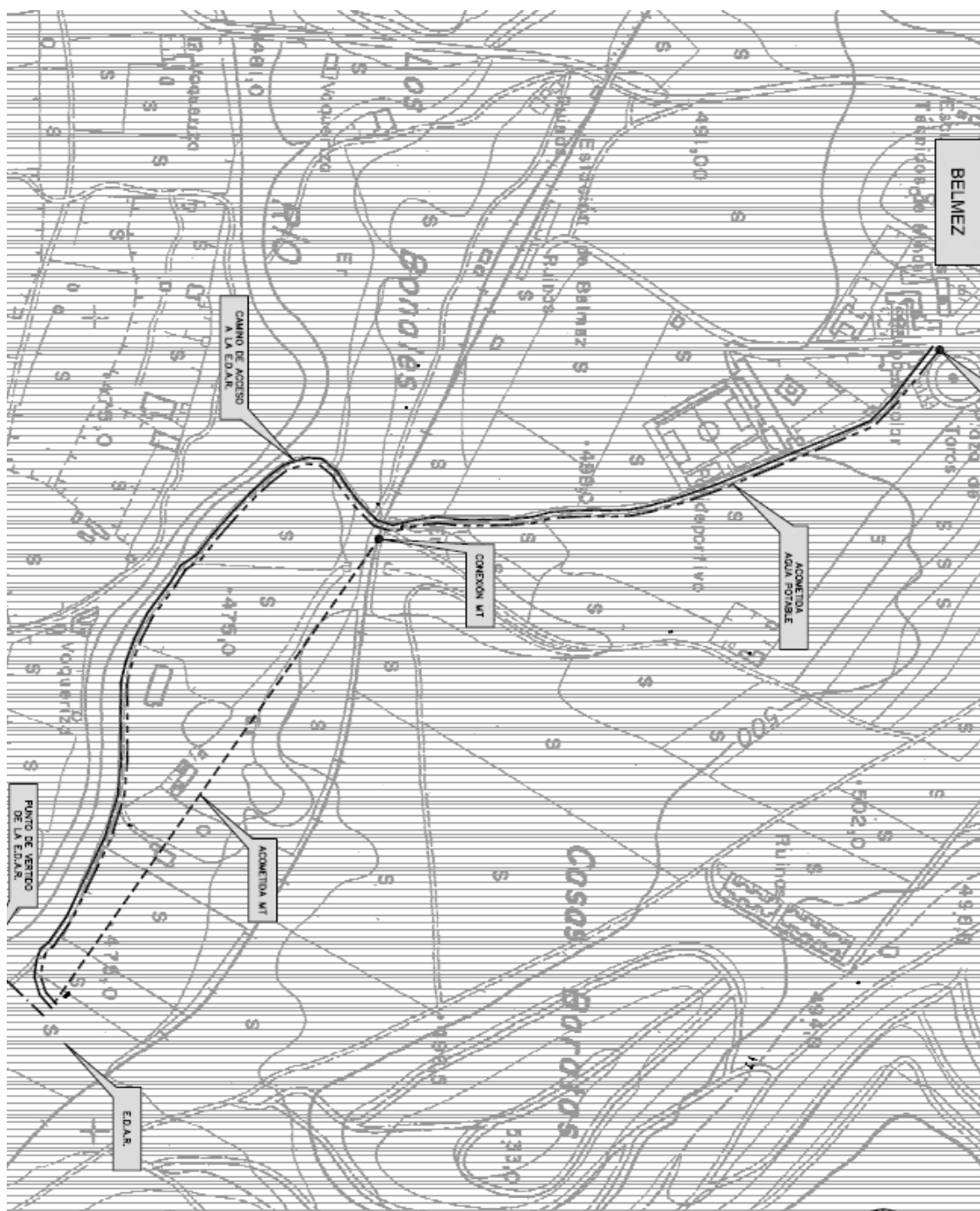
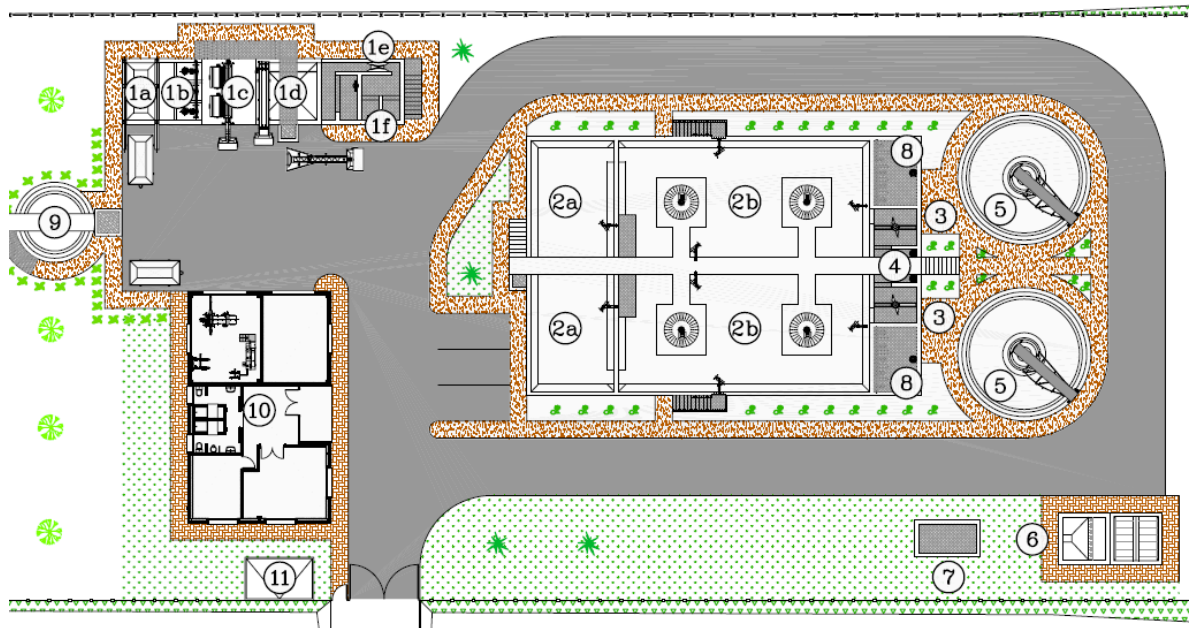


Figura 26. Ubicación EDAR Belmez



LEYENDA DE RECINTOS

- 1.- PRETRATAMIENTO
 - a.- POZO DE GRUESOS
 - b.- BOMBEO DE ELEVACIÓN
 - c.- TAMIZADO
 - d.- DESARENADO-DESENGRASADO
 - e.- MEDICIÓN-LIMITACIÓN DE CAUDAL
 - f.- ARQUETA DE REPARTO A BIOLÓGICO
- 2.- REACTOR BIOLÓGICO
 - a.- CÁMARA ANÓXICA
 - b.- CÁMARA ÓXICA
- 3.- ARQUETA DE FLOCULACIÓN
- 4.- REPARTO A DECANTACIÓN SECUNDARIA
- 5.- DECANTACIÓN SECUNDARIA
- 6.- ARQUETA DE AGUA TRATADA
- 7.- ARQUETA DE MEDICIÓN DE AGUA TRATADA
- 8.- BOMBEO DE FANGOS SECUNDARIOS
- 9.- ESPESADOR DE FANGOS
- 0.- EDIFICIO DE CONTROL Y DESHIDRATACIÓN
- 1.- CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Figura 27. Planta EDAR Belmez

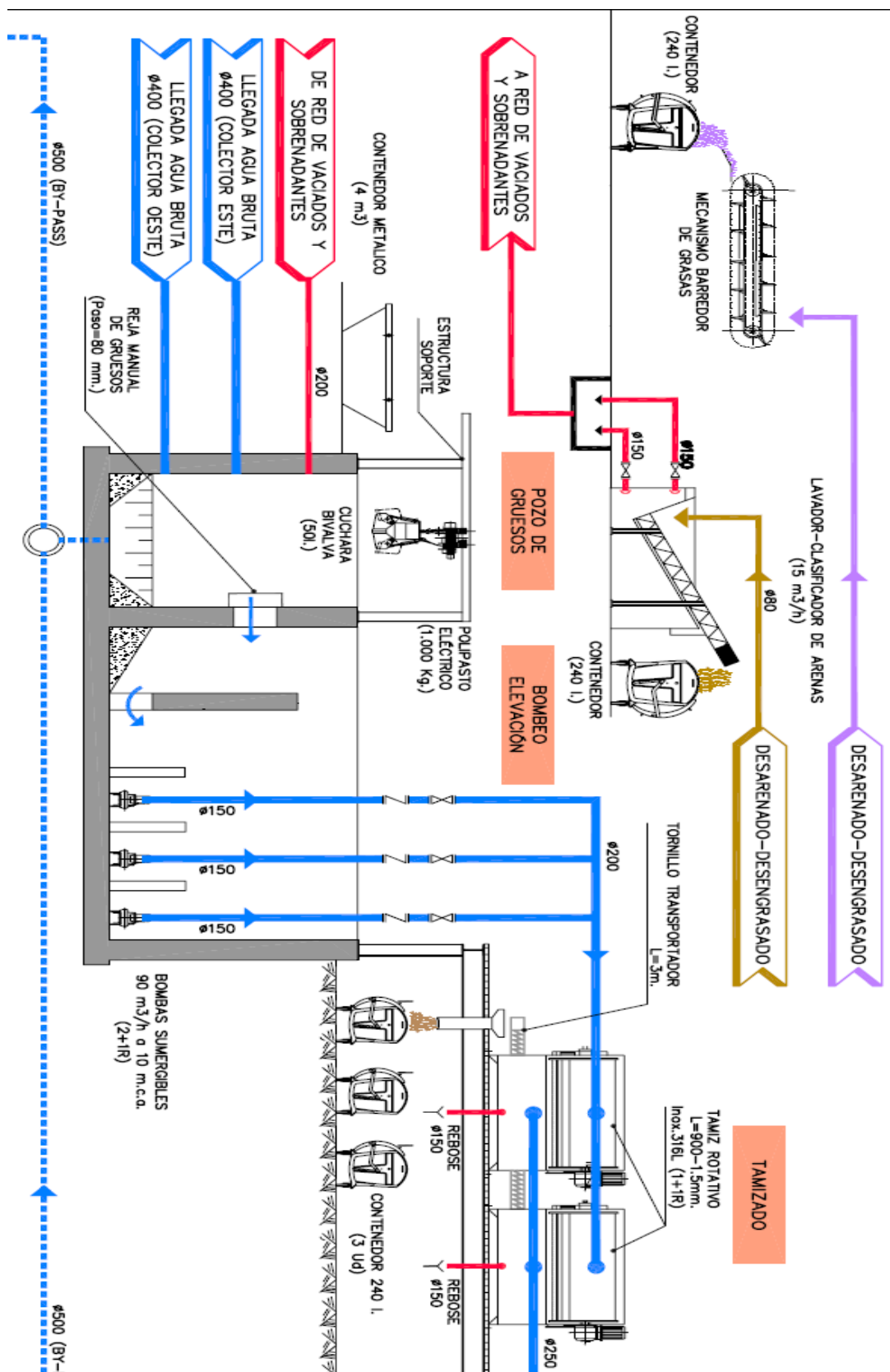


Figura 28 . Línea de agua EDAR Belmez. Parte I

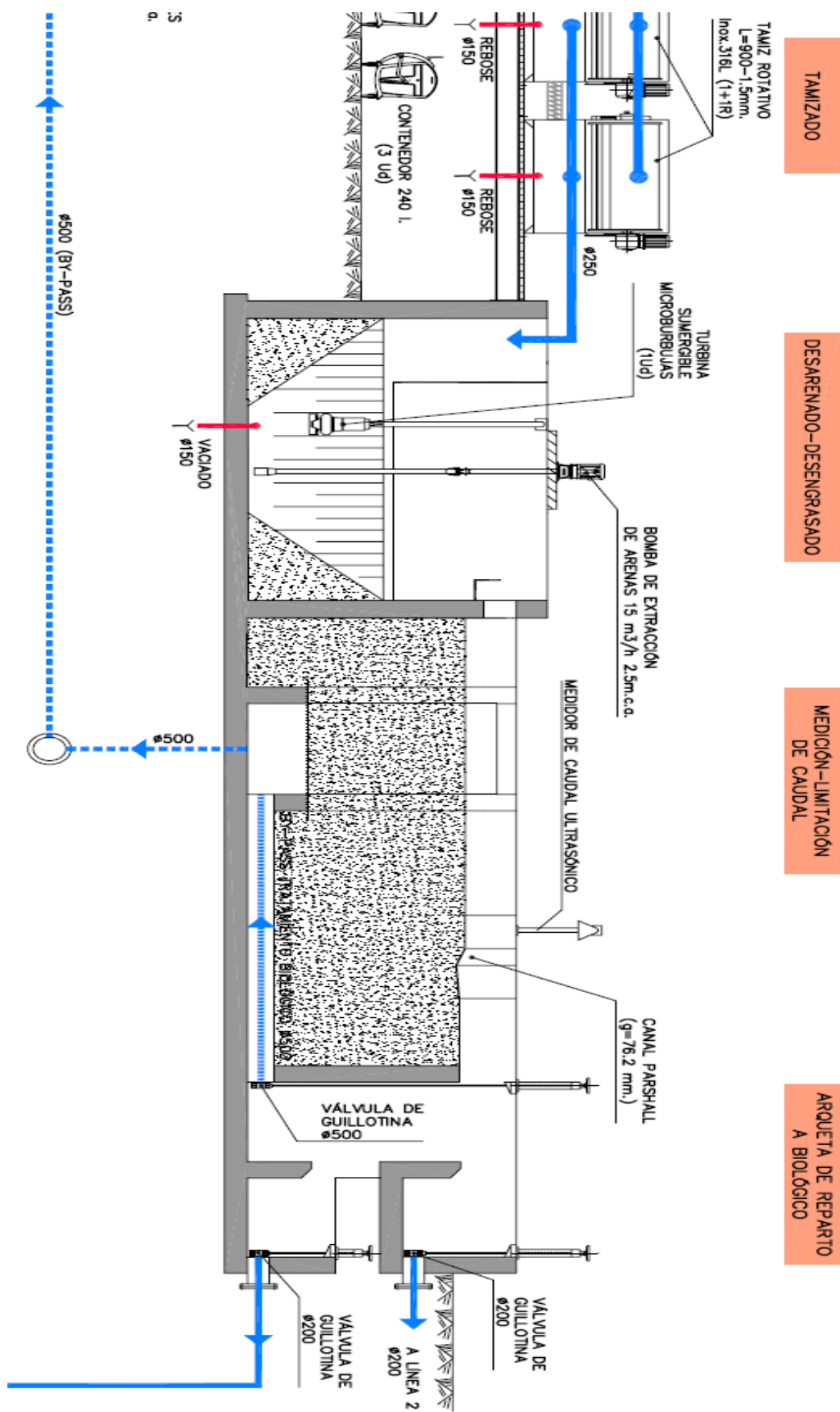


Figura 29. Línea de agua EDAR Belmez. Parte II

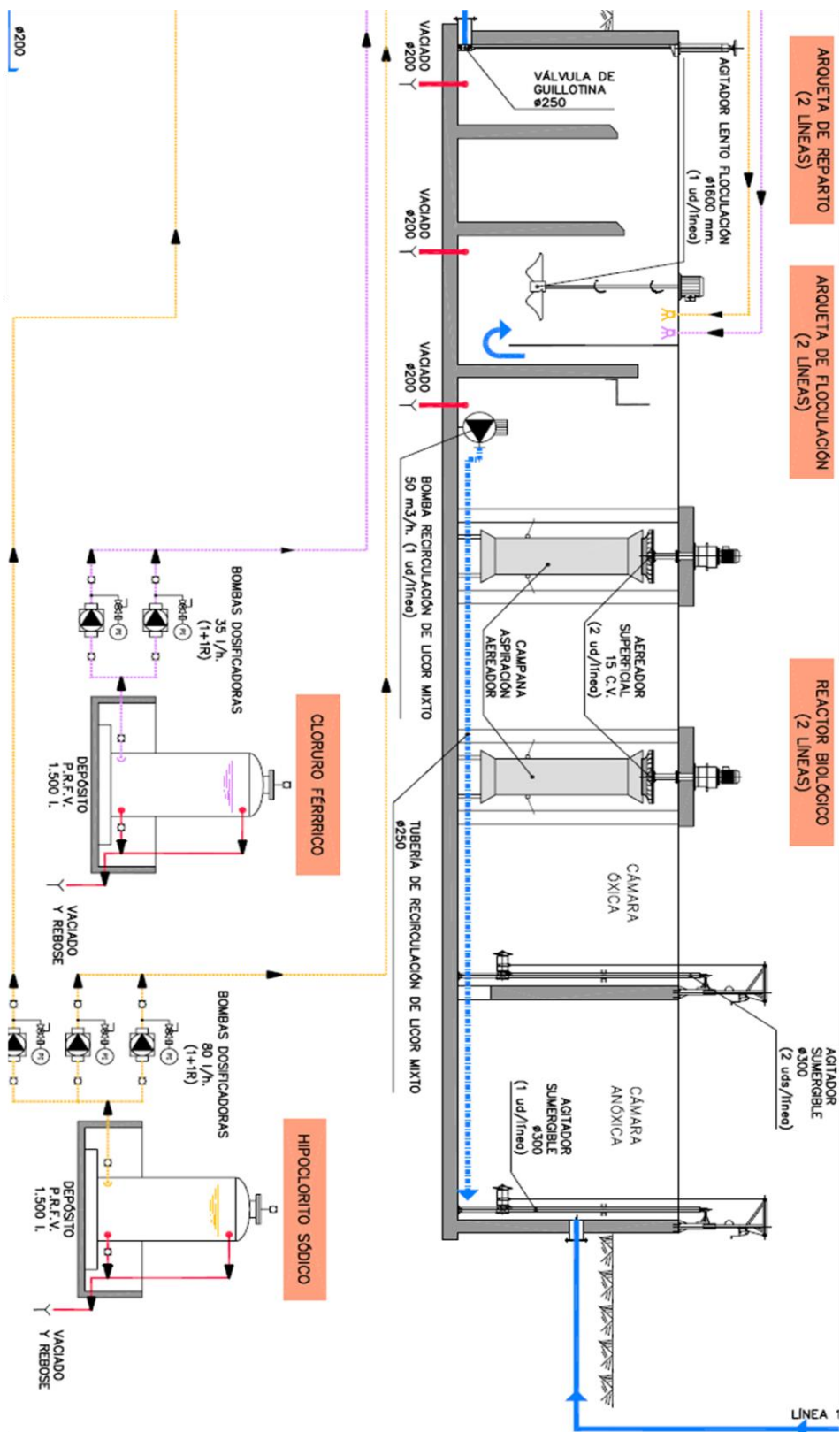


Figura 30. Línea de agua EDAR Belmez. Parte III

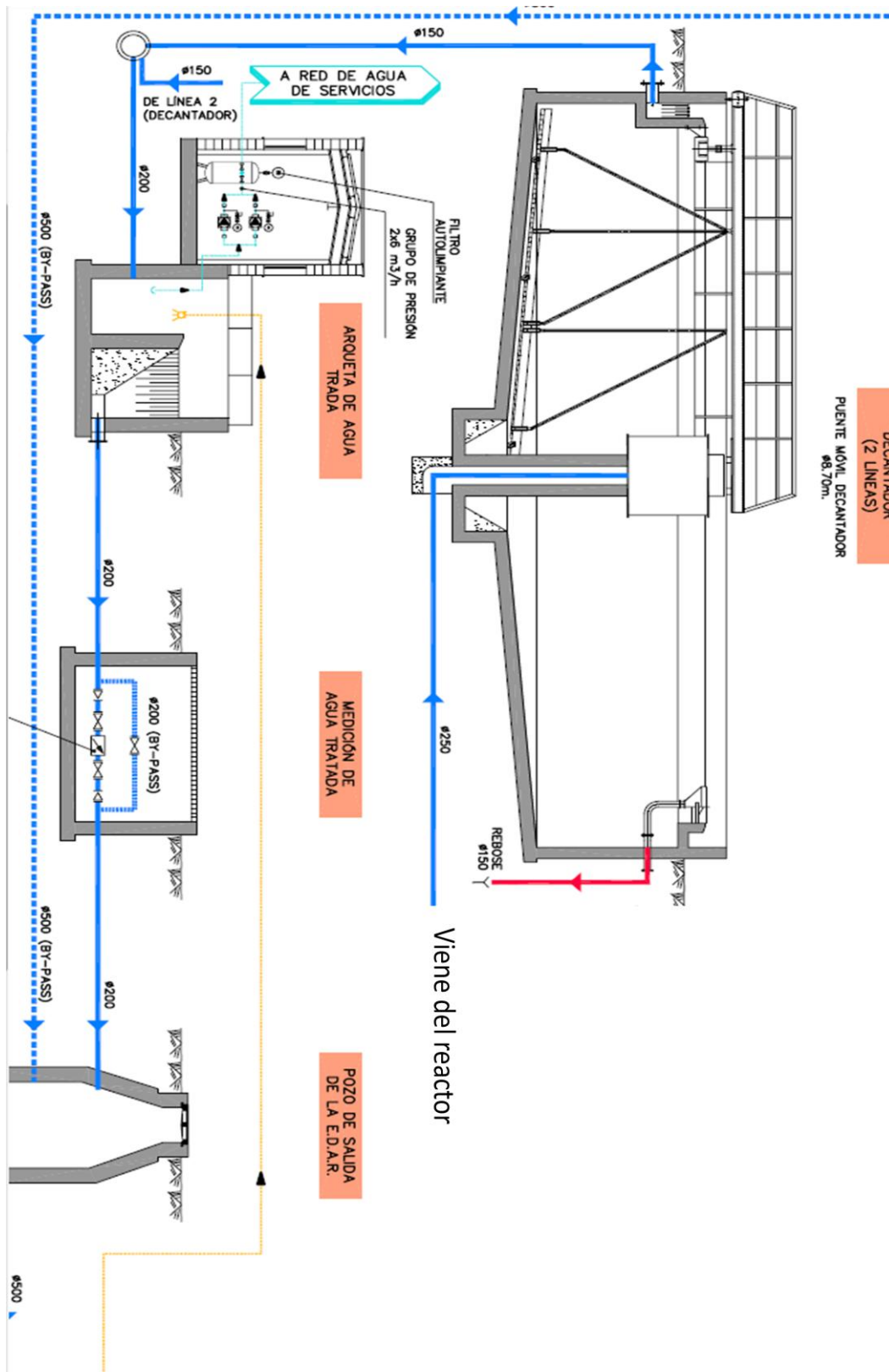


Figura 31. Línea de agua EDAR Belmez. Parte IV

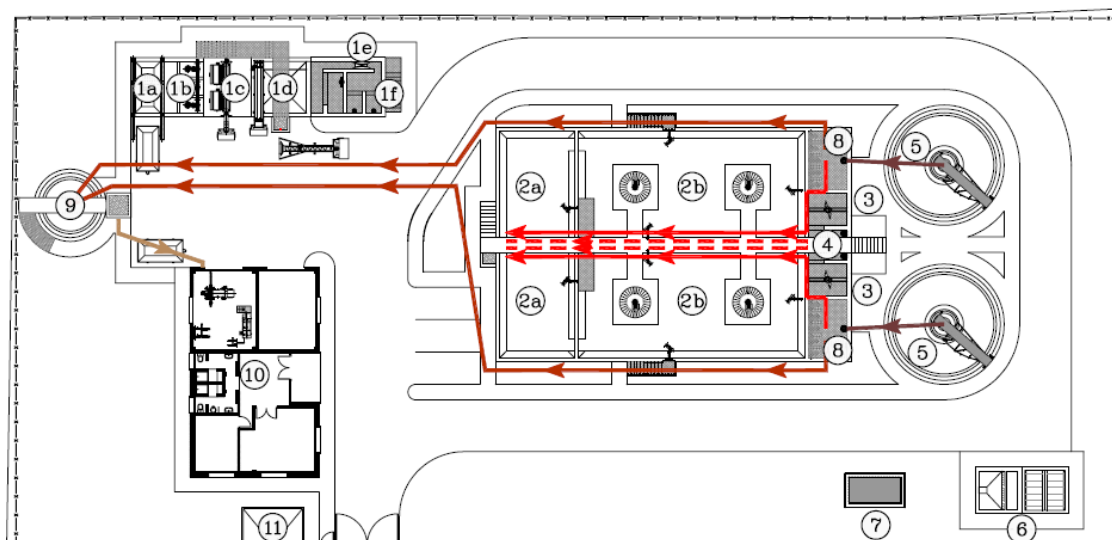


Figura 32. Línea de fango

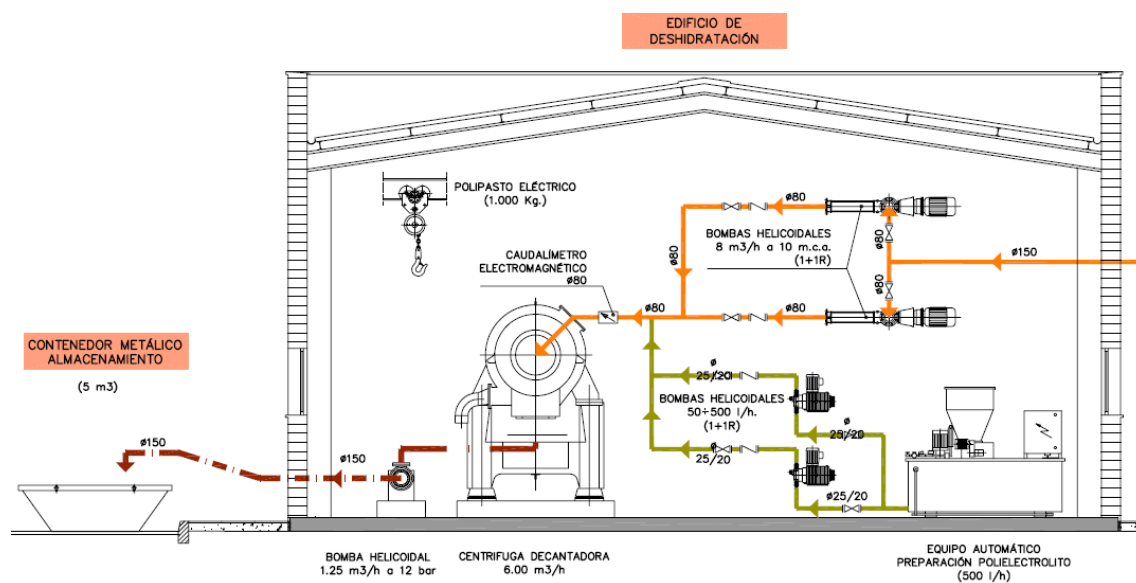


Figura 33. Deshidratación de lodos

Caracterización del agua residual tratada

El agua de amasado cumple dos funciones: hidratar el cemento y proporcionar fluidez y lubricación al mortero. Ciertas impurezas en el agua pueden causar alteraciones en las propiedades del mortero, por lo que debemos controlar la presencia de ellas.

Para la caracterización del agua residual tratada, tomaremos una muestra a la salida de la estación de depuración de aguas residuales de Belmez, Córdoba.

Se trata de una muestra puntual de 5 litros que será recogida acorde a la UNE 83951:2008. Será refrigerada para su conservación.

En la EHE 08, capítulo VI artículo 27, se especifican las características que debe tener el agua de amasado para hormigones estructurales y que tomaremos como referencia para estimar si el agua residual tratada es apta o no para amasadas de mortero.

Tabla 1: Valores límites para agua de amasado según EHE 08.

Parámetro	Valor límite
Exponente de hidrógeno pH (UNE 83952 :2008)	≥ 5
Sustancias disueltas (UNE 83957:2008)	≤ 15 gramos por litro (15000 p.p.m)
Sulfatos expresados en SO_4^- (UNE 83956 :2008)	≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)
Ión cloruro, Cl^- (UNE 7178)	≤ 3 gramo por litro (3.000 p.p.m)
Hidratos de carbono (UNE 7132)	0
Sustancias orgánicas solubles en éter (aceites o grasas) (UNE 7235)	≤ 15 gramos por litro (15000 p.p.m)

Exponente de hidrógeno pH

Debido a su alcalinidad, algunos agregados y el cemento son susceptibles a las aguas ácidas. Es por ello que debemos garantizar un pH superior a cinco. La normativa española no indica un límite superior. Sin embargo, algunos autores afirman que las aguas alcalinas pueden afectar la resistencia y el tiempo de fraguado. Recomiendan que el pH del agua de amasado se encuentre entre 6,0 y 8,0 (Porrero).

El método para medir el pH del agua de amasado se basa en un procedimiento potenciométrico en el que se emplea un pH-metro con un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia. La calibración del pH metro se realiza mediante disoluciones de pH conocido que servirán de patrón. Será necesario realizar dos determinaciones a la muestra.

Reactivos:

Disolución patrón de potasio hidrógeno ftalato ($\text{C}_6\text{H}_4\text{C}_2\text{O}_4\text{HK}$)
0,05M

Disolución patrón de potasio di hidrogeno fosfato (KH_2PO_4) 0,025
y di sodio hidrogeno fosfato (Na_2HPO_4) 0,025 M

Disolución patrón de bórax (di-sodio tetra-borato 10-hidrato)
($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 0,01 M

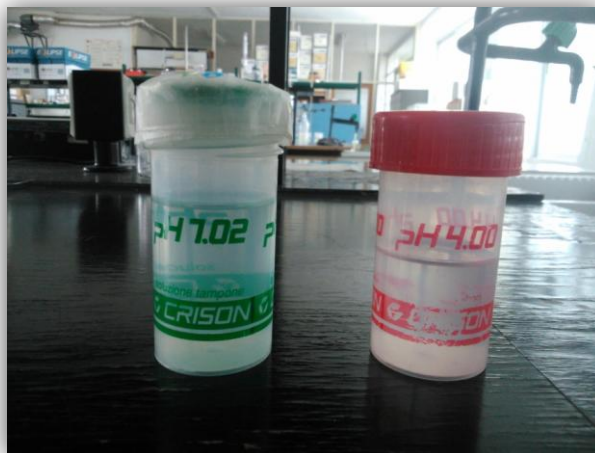


Figura 34. Disoluciones patrón comerciales

Sustancias disueltas

La presencia de de productos en suspensión o disolución puede alterar los tiempos de fraguado, la resistencia o la actividad de los aditivos,

Para la determinación de residuos sólidos, se miden en un matraz aforado 100ml de muestra. Se trasvasa a un vaso de precipitado previamente tarado. Se lava el matraz con agua destilada varias veces y se vacía el contenido en el vaso para asegurar que no queden residuos sólidos en el matraz. Se calienta el vaso (en baño de arena) hasta que el liquido se evapore totalmente pero sin alcanzar la temperatura de ebullición. La muestra se lleva a una estufa regulada a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 1 hora. Seguidamente es llevada a temperatura ambiente mediante un desecador para que no tome humedad. Finalmente se pesa en una balanza de 0,0001 g de precisión y se determina el peso de los residuos secos mediante la siguiente expresión:

$$\text{Residuo seco} = \frac{(m1 - m2) * 1000}{V} \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

Donde:

m1 peso en miligramos del vaso más los sólidos

m2 peso en miligramos del vaso

V volumen de la muestra (100ml)



Figura 35. Residuos sólidos de una muestra de agua residual tratada

Iones sulfato

El ataque de sulfatos se debe a la combinación de ión sulfato con el aluminato de calcio hidratado del cemento formando estringita (sulfo aluminato de calcio) y con el hidróxido de calcio libre o liberado durante la hidratación del cemento, para formar yeso. Ambas reacciones producen expansiones fuertes, ya que tanto la estringita como el yeso alcanzan un volumen mucho mayor que el de los sólidos reactantes que los formaron, y como consecuencia ocasionan la destrucción de los morteros (Porrero).

El contenido de ión sulfato se obtendrá en forma gravimétrica, mediante la formación de precipitado a un pH contenido entre 1,0 y 5,0, con el uso de una disolución de Cloruro de Bario, añadida durante la ebullición de la muestra de agua destinada al amasado.

En primer lugar el agua debe ser llevada a un pH ácido, entre 1,0 y 1,5; al cual los iones de sulfato precipitan con una disolución de cloruro de bario. Para ello se incorpora **ácido clorhídrico 1+1** mediante una bureta. A la muestra de 100ml, medido en matraz, se le añade algunas gotas de **naranja de metilo al 0,1%** como indicador. Este tinta el agua de amarillo y al alcanzar el pH ácido cambia de color. Tras alcanzar este punto se añaden 2ml de ácido para garantizar que se ha alcanzado el valor de pH deseado. Se añade agua destilada hasta completar 200ml. La muestra es puesta a calentar, cuando comienza a ebullición se contabilizan 15 minutos tras los cuales se le añade 10ml de **cloruro de bario al 10%** con una pipeta. El cloruro de bario debe estar caliente. Si el agua presenta turbidez conviene filtrarla antes de añadir el cloruro de bario. Se calienta la muestra 15 minutos más. Se añade agua destilada suficiente para recuperar los 200ml de líquido y finalmente es llevada a la estufa a 60° entre 12 y 24 horas. Realizaremos 3 determinaciones.



Figura 36. Añadiendo ácido clorhídrico a la muestra de agua con naranja de metilo

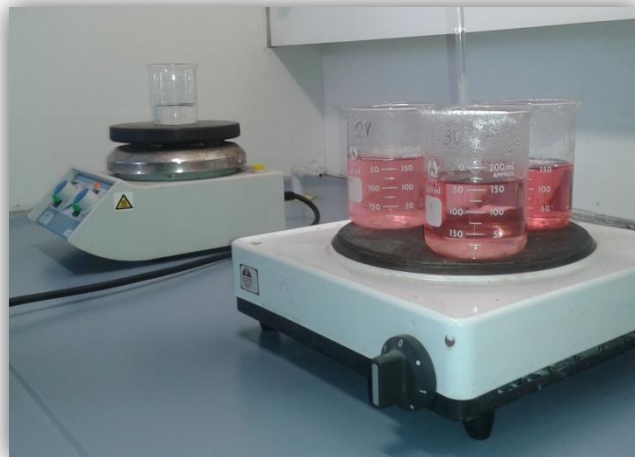


Figura 37. Añadiendo cloruro de bario a las muestras de agua precalentadas.

Se procede entonces a la fase de filtrado. Se prepara previamente un matraz Kitasato con un embudo en su parte superior, y conectado a una bomba de vacío para agilizar la fase de filtrado. Se coloca además un papel de Filtro de dimensiones y peso conocido sobre el embudo.



Figura 38. Matraz con embudo y conectado a bomba de vacío



Figura 39. Papel de filtro de dimensiones y peso conocido

A continuación, se toma la muestra de agua que había y se vierte en el embudo; luego se realiza un llenado del recipiente que contenía la muestra con agua destilada, vertiendo su contenido sobre el embudo para garantizar el filtrado de todos los sulfatos presentes en la muestra. Se recomienda repetir el enjuague con agua destilada en varias oportunidades.

Se debe garantizar que la muestra vertida no contenga el cloruro de Bario que se añadió en la fase anterior para permitir el precipitado de los sulfatos, por lo que se realiza el despistaje de cloruros con el uso de una disolución de Nitrato de Plata. El proceso consiste en tomar el embudo del matraz durante uno de los vertidos con agua destilada, y colocar un tubo de ensayo bajo el embudo; sobre este será vertido parte del contenido, al que se añadirán a continuación una (1) o dos (2) gotas de nitrato de Plata. Si el contenido del tubo de ensayo se torna blanquecino, indica la presencia de cloruros, en cuyo caso se debe seguir continuando con la fase de filtrado, hasta realizar nuevamente un ensayo

de despistaje con Nitrato de Plata y chequear que el contenido de la muestra dentro del tubo de ensayo sea cristalino.



Figura 40. Contraste entre dos muestras, la de la izquierda tiene un tono blanquecino, indicador de presencia de cloruros

Se procede a continuación con la fase de calcinación. Se retiran los filtros de cada una de las muestras, y se colocan dentro de crisoles de porcelana, uno para cada muestra. Estos crisoles se han sometido previamente a un calentamiento a 550°C durante media hora, y dejados enfriar en un desecador, luego de esto se ha estimado su peso inicial en una balanza con una precisión de 0,0001 g.



Figura 41. Disposición de los crisoles en el interior del horno

Los crisoles con el papel filtro se someten a una rampa de calentamiento dentro de un horno, que a continuación se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Rampa de calcinación

FASE ESCALONADA DE CALCINACIÓN	
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
10	200
10	250
20	300
10	350
10	450
10	550
10	650
15	950

Una vez superada la fase de calcinación, se retiran los crisoles del horno, se pesan y por diferencia se obtiene el contenido de sulfatos mediante la siguiente expresión:

$$SO_4^{-2} = (m1 - m2 - m3) \times 4116$$

Donde:

m1 es el peso del crisol con los sulfatos en gramos, una vez finalizada la calcinación.

m2 es el peso del crisol en gramos.

m3 es el peso en gramos de las cenizas del filtro calcinado, cuya densidad y porcentaje de cenizas es conocido.

El resultado obtenido se expresa en miligramos por litro (mg/l).

Deben efectuarse tres determinaciones

Ión cloruro:

Es de principal interés en hormigones armados, debido a la corrosión que ocasionan. A pesar de no ser el caso de estudio, realizaremos los ensayos correspondientes a modo de comparar con los valores límites de la EHE 08.

Para que los iones en el agua precipiten se le añadirá **nitrate de plata (AgNO₃ 0,015M)** a la muestra, lo suficiente para que todo el cloruro se combine con la plata y precipite AgCl. Este punto lo reconoceremos gracias a un indicador: **cromato potásico**.

El procedimiento es el siguiente. A una muestra de 10ml (medidos con pipeta y pasados a Elenmeyer) se le añadirá el cromato. Con ayuda de una bureta se agrega gota a gota el nitrate de plata hasta que la muestra pase de un amarillo traslucido a un naranja opaco. Debe registrarse el volumen de nitrate de plata agregado. Debe repetirse tres veces.



Figura 42. Ensayo de cloruros

$$C = \frac{(V1 - V2) \times N \times 71000}{V}$$

Donde:

C es la concentración del ión cloruro en partes por millón.

V1 es la lectura inicial de la bureta en cm³.

V2 es la lectura final de la bureta en cm³.

N es la normalidad de la disolución valorada de Nitrato de Plata

V es el volumen de la muestra de agua utilizada en el procedimiento

Hidratos de carbono

La presencia de azúcares retrasa el fraguado, al punto de inhibirlo. La presencia de hidratos de carbono en el agua que va a utilizarse para amasado excluye la posibilidad de su empleo.

El procedimiento se basa en la investigación de sacarosa con **disolución alcoholica de α naftol** en medio ácido, y en la investigación de la glucosa y otros glúcidos reductores mediante el **líquido de Fehling**.

Para la determinación de la sacarosa se toman 50cm³ de muestra y se le añaden 3 gotas de la disolución alcohólica de α naftol y 1cm³ de ácido sulfúrico concentrado, se agita y se observa si aparece una coloración violada, que indica la presencia de sacarosa.

Para la segunda parte, en un tubo de ensayo se mezclan volúmenes iguales de las **disoluciones A (69,3g de sulfato de cobre cristalizado $\text{SO}_4\text{Cu} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en 1 litro de disolución) y B (364g de tartrato sodicopotásico y 100g de hidróxido sódico en 1 litro de disolución)** que constituyen el reactivo de Fehling, y se hierven. Si los reactivos están en condiciones de uso no debe producirse ninguna decoloración ni cambio de color. Sobre esta mezcla se vierten un volumen igual del agua objeto de análisis y se vuelve a hervir. Cualquier alteración del color indica la presencia de sustancias reductoras.

Sustancias orgánicas solubles en éter

La presencia de aceites o grasas disminuye la adherencia y reduce la resistencia del mortero.

Se realizará un ensayo cualitativo. Se deposita sobre la superficie de la muestra unos miligramos de alcanfor, metafenilendiamina o parafenilendiamina. En ausencia de aceites o grasas, las partículas sólidas adquieren un vivo movimiento circular. Si, por el contrario, el agua contiene indicios de sustancias oleosas, no se produce dicho movimiento.

Equipos



Figura 43 ph-metro Micro pH 2001. CRISON.

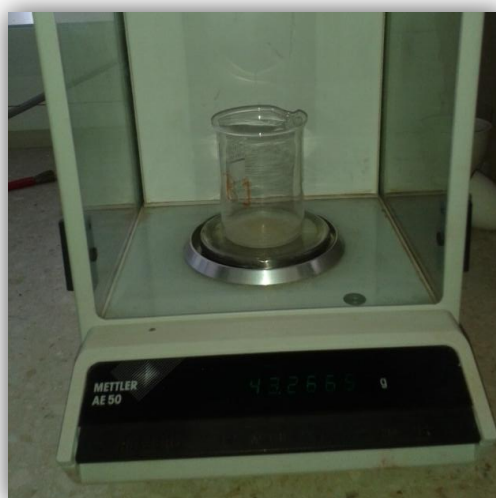


Figura 44. Balanza de alta precision. Mettler. German Werber S.A.



Figura 45. Baño de Arena



Figura 46. Desecador



Figura 47. Placa calefactora

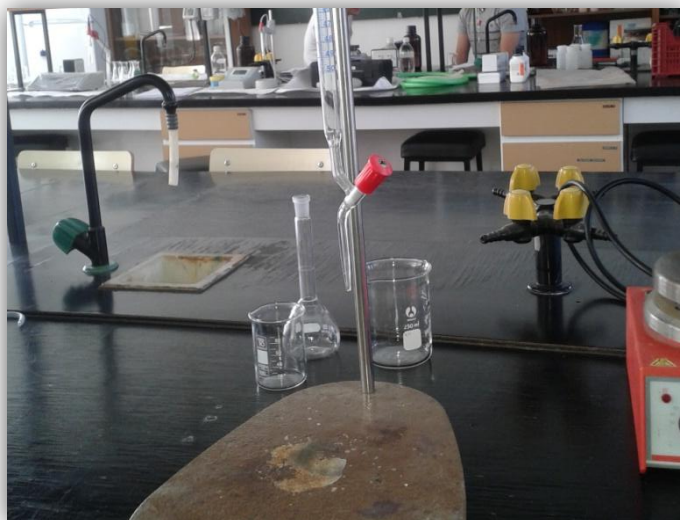


Figura 48. Bureta

Otros: estufa, material usual de laboratorio analítico,...

Ensayos para el estudio de las propiedades físicas de los morteros

Materiales

Cemento

Se utilizó un cemento Portland con caliza CEM I / B-L 52,5 N fabricado en la planta de Cosmos en Córdoba.

Tabla 3. Componentes cemento tipo I.

COMPONENTES	
	Valor Habitual
Clinker	$\geq 95 \%$
Minoritarios	$\leq 5 \%$
QUÍMICAS	
	Valor Habitual
Pérdida por calcinación	$< 3,2 \%$
Residuo insoluble	$< 1,0 \%$
Sulfato	$< 4,0 \%$
Cloruros	$< 0,02 \%$
Cromo VI soluble en agua (UNE-EN	$< 0,0002 \%$

196-10)	
FÍSICAS	
	Valor Habitual
Inicio (minutos)	> 85,0
Final	< 355
Expansión: (Le Chatelier)	< 2,5 mm

Durante la fase de ensayos, se almacenaron en bidones herméticamente cerrados, para evitar su compactación.

Además, se empleó cemento tipo CEM II BL/ 32,5 N fabricado en la planta de Cosmos en Córdoba.

Arena natural

Se ha utilizado arena natural comercial (AN) no normalizada (0/4mm), procedente de la planta Áridos Álvarez SL de Córdoba. Esta fue tamizada por la malla de 4mm y cuarteada con el fin de obtener una distribución homogénea del materia. Por último, se procedió al ensacado del material para una mayor manejabilidad y comodidad, así como para conservar su humedad. Además se tamizó y se proporcionaron los diferentes tamaños de granos para que tuviera una granulometría semejante a la del RCD.



Figura 49. Proceso de cuarteo



Figura 50. Cuarteador

Tabla 4. Resultados ensayo para la determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua de la arena natural

UNE-EN 1097-6:2001	Fecha:		
Identificación de la muestra:			
Masa del árido sacado del picnómetro y escurrido (g)	M1 =	1.042	g
Masa del Picnómetro con agua y árido (g)	M2 =	4.185	g
Masa del Picnómetro sólo con agua(g)	M3 =	3.534	g
Masa seca (después de la estufa) (g)	M4 =	1.038	g
DENSIDAD APARENTE DE PARTÍCULAS(g/cm3)	$\rho_a =$	2,682	
DENSIDAD DE PARTÍCULAS TRAS SECADO EN ESTUFA (g/cm3)	$\rho_{rd} =$	2,655	
DENSIDAD DE PARTÍCULAS SATURADAS CON LA SUPERFICIE SECA (g/cm3)	$\rho_{ssd} =$	2,665	
ABSORCIÓN DE AGUA (%)	$WA_{24} =$	0,385	

Agua potable

El agua se tomó directamente del grifo en el Campus de Rabanales en Córdoba para que se asemeje a la realidad en obra.

Aditivo

Se ha añadido un plastificante aireante para morteros reductor de agua llamado Neoplast. Su densidad es de 1,040 kg/l.

El fabricante recomienda aditivar 10 ml de producto por cada 50 kg de cemento, diluido previamente en agua de amasado. En nuestras amasadas hemos añadido 0,1 ml.



Figura 51. Aditivo

Residuo de construcción y demolición (RCD)

Procede de la planta de RCD de GEOCORSA. Al igual que el agregado natural, el árido reciclado cerámico también ha tenido que pasar por una serie de actuaciones previas a su utilización.

En primer lugar, de la misma forma que con la arena, se procedió a su cuarteo de manera que todas las bolsas tuvieran las mismas características. La siguiente tabla muestra la composición según la UNE-EN 933-11:2009 del árido reciclado que se va a utilizar en nuestras investigaciones

Tabla 5 Resultados ensayo para la determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua del RCD

UNE-EN 1097-6:2001	Fecha:		
Identificación de la muestra:			
Masa del árido sacado del picnómetro y escurrido (g)	M1 =	1.064	g
Masa del Picnómetro con agua y árido (g)	M2 =	4.181	g
Masa del Picnómetro sólo con agua(g)	M3 =	3.535	g
Masa seca (después de la estufa) (g)	M4 =	1.029	g
DENSIDAD APARENTE DE PARTÍCULAS(g/cm3)	$\rho_a =$	2,687	
DENSIDAD DE PARTÍCULAS TRAS SECADO EN ESTUFA (g/cm3)	$\rho_{rd} =$	2,462	
DENSIDAD DE PARTÍCULAS SATURADAS CON LA SUPERFICIE SECA (g/cm3)	$\rho_{ssd} =$	2,545	
ABSORCIÓN DE AGUA (%)	$WA_{24} =$	3,401	

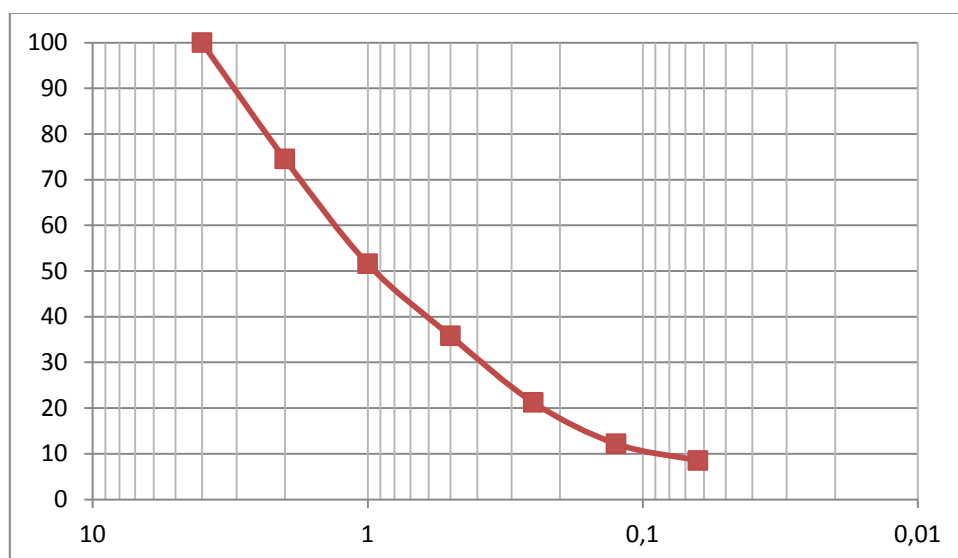


Figura 52. Granulometría del RCD, análoga a la de arena natural

Filler siliceo

Lorda y Roig S.A.



Figura 53. Filler siliceo

Cenizas volantes de biomasa

Es un producto de la industria olivarera con cogeneración en ciclo combinado (13 + 4,4 MW) y generación eléctrica a partir de biomasa (9,6 MW) en Puente Genil (Córdoba) de la empresa Valoriza Energía, del grupo Sacyr-Vallehermoso.

La biomasa utilizada como combustible para la planta proviene principalmente de orujillo (residuo que se obtiene del proceso de extracción del aceite de orujo de oliva) pero también orujos de uva, poda de olivar, cáscara de almendra, rastrojos de algodón, girasol, ajos, sorgo, residuos forestales,... procedentes de cultivos de la zona.

Las muestras de las cenizas volante se realizaron de acuerdo con la norma UNE 83-421.

La Tabla muestra las proporciones de combustible de mezclas de biomasa utilizados, expresados en % de volumen de la muestra, así como otros datos de interés.

Tabla 6. Proporciones de la biomasa

MUESTRA:	CENIZAS-PGENIL-01
FECHA DE RECOGIDA:	18/03/201
PLANTA:	BIOMASA P. GENIL
EMPRESA:	Valoriza-Energía
LUGAR DE RECOGIDA:	TOLVA
PESO (kg):	250
PORCENTAJE DE BIOMASA EN CALDERA	
ORUJILLO:	40%
HOJARASCA DE OLIVO:	60%
PINO:	-
ORIGEN DE LA BIOMASA:	Provincia de Córdoba



Figura 54. Planta Puente Genil

Método

La amasadas

Se realiza de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-2. En primer lugar se añade el plastificante (en la cantidad de 0,1 ml) al agua y éstos se colocan en la amasadora. A continuación, se pone a funcionar, a velocidad lenta (para evitar salpicaduras), y se vierten, por este orden, el árido (0,125-2 mm), el cemento y el filler o las cenizas. La amasadora se mantiene en marcha durante 3 minutos, contados desde el momento en que el cemento entra en contacto con el agua. El tiempo que debe transcurrir desde que el cemento entra en contacto con el agua hasta que se añade el último material son los primeros 40 segundos. Transcurridos los 3 minutos, se para la amasadora y se procede a medir la consistencia de la amasada.



Figura 55. Preparación del árido

Consistencia

Para evaluar la consistencia del mortero fresco se ha utilizado el método de la mesa de sacudidas (UNE-EN 1015-3), el cual establece en 175 ± 10 mm el valor de dicha consistencia.

La consistencia es una medida de la fluidez y/o de la humedad del mortero y proporciona una medida de la deformabilidad del mortero fresco cuando se somete a un determinado tipo de esfuerzo.

La muestra de mortero fresco debe tener, como mínimo, un volumen de 1,5 litros.

Antes de las mediciones, la amasada se debe agitar suavemente con la mano (utilizando una paleta) de 5 a 10 segundos con el fin de evitar cualquier falso fraguado, pero sin efectuar un amasado adicional del mortero.

Antes de comenzar el ensayo, se limpian todos los elementos y se lubrican con un aceite mineral sin resinas de baja plasticidad.

Se coloca el molde en el centro del disco de la mesa de sacudidas. Se rellena en 2 capas, cada una de las cuales se compacta con 10 golpes del pisón con el fin de asegurar un llenado uniforme. Durante su llenado, el molde se mantiene firmemente con la mano sobre el disco.

Se elimina el exceso de mortero con la regla de enrasar, limpiando y secando la superficie libre del disco de la mesa de sacudidas con el fin de no obtener una lectura del diámetro errónea, teniendo cuidado de eliminar el agua que pueda quedar alrededor del borde inferior del molde. Seguidamente, se levanta lenta y verticalmente el molde.

A continuación, se le aplican 15 sacudidas a la mesa, con una frecuencia constante de, aproximadamente, una sacudida por segundo, de tal manera que el mortero se extiende sobre el disco.

Por último, se mide el diámetro del mortero en cuatro direcciones perpendiculares entre sí con la regla de medir. Se anotan los resultados en mm, con una exactitud de ± 1 mm. Se calcula el valor medio de las 4 medidas, siendo éste el valor del escurrimiento de la muestra ensayada



Figura 56. Medición de la consistencia

Preparación de las probetas

Lo primero es lubricar con aceite el interior del molde. El molde se rellena en 2 capas, cada una de las cuales se compacta con 10 golpes en la mesa compactadora. A continuación, se elimina el exceso de mortero con el enrasador para así obtener una superficie lisa. Seguidamente, el molde se traslada a una cámara humedad con un grado de humedad del $65\% \pm 5\%$. En dicha cámara, permanece 2 días. Pasado ese tiempo, se procede al desmoldado. Una vez realizado el desmolde, las probetas de mortero se vuelven a trasladar a la misma cámara humedad, donde estarán los días restantes antes de ser ensayadas.

El tamaño de las probetas de mortero es de 40x40x160 mm, lo que corresponde a un volumen de 256 cm^3



Figura 57. Moldes ensayo flexión compresión y retracción

Determinación de la resistencia a flexión y a compresión

La determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido se determina mediante la norma UNE-EN 1015-11, “Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido”.

La resistencia a flexión de un mortero se determina aplicando una carga en tres puntos de las probetas desmoldadas, hasta su rotura.

La resistencia a compresión de un mortero se determina en cada una de las dos mitades resultantes del ensayo de resistencia a flexión.



Figura 58. Ensayo a flexión



Figura 59. Ensayo a compresión

La máquina multiensayos da el valor de la resistencia tanto a flexión como a compresión en MPa, la fuerza ejercida y el tiempo de duración del ensayo.

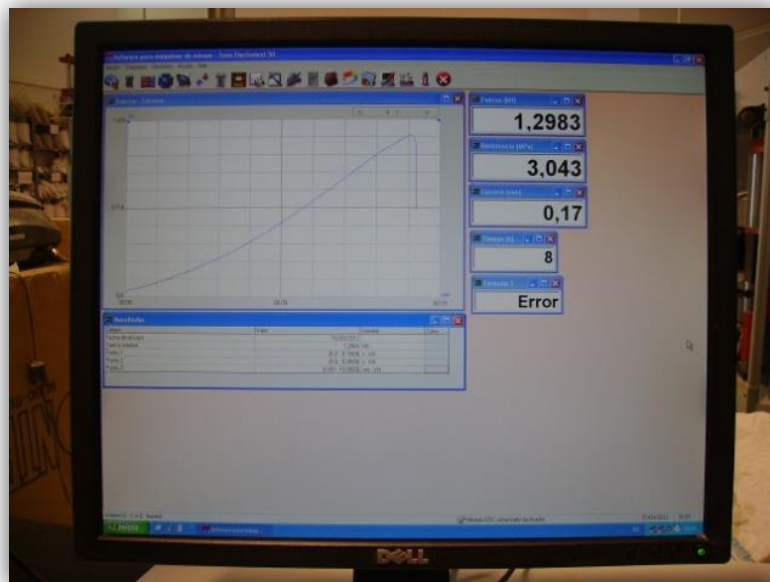


Figura 60. Resultados flexión

Al final del ensayo de resistencia a compresión, una muestra de cada semi-probeta ensayada es tomada y medida en estufa para obtener la humedad y densidad seca del mortero.

Retracción

La determinación de la retracción o expansión del mortero endurecido se determina mediante la norma UNE 83831 EX, "Métodos de ensayo de los morteros para albañilería endurecidos. Determinación de la estabilidad dimensional de los morteros para albañilería endurecidos".

Para cada tipo de mortero, se ha rellenado un molde (3 probetas) por repetición, las cuales hay que diferenciarlas entre sí (X, Y, Z). Se toman 3 medidas de lectura para cada una de ellas y después se obtiene una media.

Al igual que ocurría en el ensayo de flexión y compresión aquí llenamos el molde con mortero en dos capas aproximadamente iguales, cada capa se compacta con 10 golpes en la mesa compactadora, a continuación enrasamos y por último dejamos que cure en la cámara húmeda.

- *Curado:*

En cámara húmeda (95% humedad)

En cámara seca (65% humedad)

21 días a partir de que se saca de la cámara húmeda

Por último, se calcula la retracción (en %) y la variación de masa (en %) con las siguientes fórmulas:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\%$$

$$m = \frac{\Delta M}{M} \times 100\%$$

ΔL : variación de longitud.

ΔM : variación de masa.

L: longitud inicial (a los 2 días de amasado).
de amasado).

M: masa inicial (a los 2 días



Figura 61. Ensayo retracción

Adherencia

La determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes se realiza con la norma UNE-EN 1015-12.

La resistencia a la adhesión (resistencia de unión) se define como la tracción máxima al arrancamiento por carga directa perpendicular a la superficie del mortero para revoco o enlucido que se ha aplicado sobre un soporte. La carga de tracción se aplica sobre una pastilla de tracción definida, pegada (unida) a la superficie de ensayo del mortero. La resistencia a la adhesión (resistencia de unión) es la relación entre la carga de rotura y el área de la superficie de ensayo.

Aparatos

Los aparatos empleados para este ensayo son los siguientes:

- Anillo troncónico
- Pastillas
- Adhesivo
- Sonda rotativa
- Equipo de tracción para el ensayo de tracción directa
- Cámara para conservar las probetas

Tan pronto como el mortero haya endurecido suficientemente, las probetas en las que se ha colocado el revoco o el enlucido, se curan 7 días en cámara húmeda y después 21 días en cámara del 65%.

Las pastillas para tracción han sido pegadas con el adhesivo en el centro de la superficie de las probetas, evitando cualquier desbordamiento de adhesivo porque en estos casos el corte será difícil.

Las probetas se ensayan a la edad de 28 días, inmediatamente después de haberlas sacado del recinto de conservación.

Mediante el equipo de tracción, la carga fue aplicada perpendicularmente a el área de ensayo a través de las pastillas. Es muy importante que la carga se aplique sin sacudidas y a una velocidad uniforme.

Por último una vez nos haya dado el valor se anota, en este caso por cada mortero nos dará 5 valores de los cuales tan solo se utilizan los 4 más favorables.

La resistencia a la adhesión se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$f_u = \frac{Fu}{A}$$



Figura 62. Ensayo adherencia

Permeabilidad

La realización de este ensayo se fundamenta en la Norma UNE-EN 1015-19. “Métodos de ensayo para los morteros de albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad para los morteros de revoco y enlucido”

El método se fundamenta en el sello de la embocadura de los recipientes donde son colocadas las probetas; estos recipientes poseen una presión de vapor de agua controlada en su interior con el uso de una disolución salina saturada de Nitrato de Potasio. Las probetas se someten a un ambiente con temperatura y humedad controlada, donde la presión de vapor de agua difiere de la presente en el interior de los recipientes, por cuanto la velocidad de transferencia de humedad es determinada por la variación del peso de los recipientes.

Las probetas son realizadas aplicando el mortero sobre una placa de hormigón celular, con una densidad de aproximadamente $550 \pm 50 \text{ kg/m}^3$. Antes de su aplicación es importante colocar dos capas de algodón sobre esta placa. Las probetas de mortero deben tener un diámetro de aproximadamente 16 cm, de modo tal que quepan dentro del recipiente, pero que facilite las labores de sellado. Las probetas se introducen dentro de una cámara de conservación con una temperatura de $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa de $95 \pm 5\%$ durante dos (2) días.

Transcurrido este lapso, las probetas se introducen dentro de los recipientes circulares, midiendo previamente su espesor y tomando en cuenta la presencia en el interior del recipiente de la disolución salina saturada de nitrato de potasio, y dejando una capa de aire de $10 \pm 5 \text{ mm}$ de espesor entre la cara inferior de la probeta y la superficie de la disolución. Luego de esto, se sellan los bordes con una junta de estanqueidad apropiada.

Los recipientes luego se conservan a una temperatura de $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa de $50 \pm 5\%$. Luego se pesan los recipientes a tres intervalos de tiempo diarios distribuidos a lo largo del día, y representando gráficamente

la variación del peso a lo largo del tiempo. Si los tres puntos se pueden colocar en línea recta, hace referencia al hecho que la cantidad de vapor de agua que atraviesa la probeta por unidad de tiempo es constante.

Una vez realizada la gráfica, se procede a estimar el flujo de vapor de agua $\Delta G / \Delta T$ que representa la pendiente de la gráfica. Seguidamente, se puede calcular la permeanza al vapor de agua por medio de la siguiente expresión:

$$\Lambda = \frac{1}{A \Delta p / (\Delta G / \Delta t) - R_A},$$

Donde

“ Λ ” es la permeanza al vapor de agua, en $\text{kg/m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$

“ A ” es el área en m^2 de la embocadura del recipiente del ensayo, aproximadamente $0,02\text{m}^2$.

“ $\Delta G / \Delta T$ ” es el flujo de vapor de agua, en kg/s .

“ R_A ” es la resistencia a la difusión del vapor de agua de la lámina de aire existente entre la cara inferior de la probeta y la disolución salina ($0,048 \times 10^9 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s} / \text{kg}$).

Al multiplicar la permeanza al vapor de agua por el espesor medio de la probeta, se podrá estimar la permeabilidad del vapor de agua, en $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$.



Figura 63. Ensayo permeabilidad

Equipos

Estufa

Se encuentra cerrada herméticamente para poder producir y emitir calor. La estufa ha de estar aproximadamente a una temperatura de 105°C para así poder obtener la humedad de nuestros áridos.

En el caso del ensayo de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido, las probetas tienen que estar a una temperatura de 60°C

Las muestras de las cuales vamos a obtener la humedad, se colocan en unos recipientes apropiados para soportar altas temperaturas como las citadas anteriormente.

Amasadora

La amasadora consta de un recipiente y una pala ambos de acero inoxidable.

Recipiente: de acero inoxidable con una capacidad de 5 l, de tal manera que puede ser fijado firmemente al bastidor de la amasadora durante el amasado y que la separación entre la pala y el recipiente pueda ser ajustada y mantenida con precisión.

Pala: de acero inoxidable, accionada por un motor eléctrico de velocidades controladas, con movimientos de rotación sobre su propio eje, y con un movimiento planetario alrededor del eje del recipiente; ambos sentidos de rotación son opuestos.



Figura 64. Amasadora

Mesa de sacudidas

Se ha empleado para determinar la consistencia de la mezcla del mortero.

Consta de: un bastidor, una placa rígida, un eje horizontal, una leva de elevación y un eje de elevación.

Un molde troncocónico (figura, de acero inoxidable o de latón, de $60 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de altura, con un diámetro interior de $100 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ en la base y de $70 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ en la parte superior. La superficie interior y los bordes del molde están pulidos. Los planos que contienen los bordes, superior e inferior, son perpendiculares al eje del molde. El espesor mínimo de la pared del molde es de 2 mm.

Un pistón de sección circular, que consiste en una barra rígida, no absorbente, de aproximadamente 40 mm de diámetro y 200 mm de longitud. La superficie de apisonado debe de ser plana y perpendicular al eje del pistón. La masa de éste es de $0,250 \text{ kg} \pm 0,015 \text{ kg}$.



Figura 65. Mesa sacudidas

Mesa compactadora

La compactadora utilizada está compuesta de una mesa rectangular, unida rígidamente por dos brazos ligeros a un eje de rotación, que distan 8 cm del centro de la mesa.

Durante el funcionamiento, la mesa es levantada por una leva de acero que le permite caer libremente desde una altura de 15 mm. El

accionamiento de la leva se hace por medio de un motor eléctrico, a una velocidad uniforme de una rotación por segundo. Un dispositivo de control y un contador regulan el periodo de compactación a 60 golpes.

En nuestro caso se redujo el número de golpes a 10 por tongada.



Figura 66. Mesa compactadora

Regla

Se ha utilizado una regla capaz de medir diámetros de hasta 300mm con una exactitud de 1mm.

Enrasador



Figura 67. Enrasador

Máquina electromecánica modelo electrotest -300-M02

Esta máquina es la que se ha utilizado para realizar los ensayos a flexión y a compresión.

Está compuesta por:

- Bastidor soporte.
- Columna guía.
- Husillos a bolas.
- Protecciones laterales.
- Travesaño móvil.
- Placa base.
- Placa superior.
- Sistema de transmisión.

Se usan dos zonas de ensayo, una de 20KN y otra de 300KN, Las de 20KN la usamos para romper las probetas a flexión y la de 300KN para romper a compresión.



Figura 68. Máquina electromecánica

Balanza

5. RESULTADOS

Caracterización del agua residual tratada

Tabla 7. Determinaciones pH

Determinaciones	pH medido
1	6,8
2	7,0
3	7,0
Promedio	6,9

Tabla 8. Determinaciones sustancias disueltas

Muestra	m1 [mg]	m2 [mg]	Volumen [ml]	m1-m2 [mg]	Sólidos disueltos [mg/l]
1	43266,5	43206,0	100	60,5	605
2	45636,6	45575,3	100	61,3	613
				Máximo	613

Tabla 9. Determinaciones sulfatos

Muestra	m1 [g]	m2 [g]	m3 [g]	SO ₄ ⁻² [mg/l]
1	21,3614	21,33	0,00009817	129
2	24,1651	24,132	0,00009817	136
3	24,0198	23,9892	0,00009817	126
			Máximo	136

Tabla 10. Determinaciones ión cloruro

Muestra	V1-V2 [cm3]	N nitrato de plata	V [cm3]	Concentración ión cloruro [ppm]
1	2,8	0,03	50	119,28
2	2,8	0,03	50	119,28
3	2,8	0,03	50	119,28
			Promedio	119,28

Hidratos de carbono

Sin presencia de hidratos de carbono

Sustancias organicas solubres en éter

Sin presencia de aceites o grasas

Comparación

Tabla 11. Caracterización agua de amasado

Parámetro	Valor	Valor límite	Cumple
Exponente de hidrógeno pH (UNE 83952 :2008)	6,9	≥ 5	Si
Sustancias disueltas (UNE 83957:2008)	613 p.p.m	≤ 15 gramos por litro (15000 p.p.m)	Si
Sulfatos expresados en $\text{SO}_4^{=}$ (UNE 83956 :2008)	136	≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)	Si
Ión cloruro, Cl^- (UNE 7178)	119 p.p.m	≤ 3 gramo por litro (3.000 p.p.m)	Si
Hidratos de carbono (UNE 7132)	0	0	Si
Sustancias orgánicas solubles en éter (aceites o grasas) (UNE 7235)	0	≤ 15 gramos por litro (15000 p.p.m)	Si

El agua residual tratada por la Estación de Depuración de Belmez cumple con los requisitos exigidos por la EHE 08 para agua de amasado.

Resistencia a flexión y compresión de morteros elaborados con agua residual tratada

Se elaboraron probetas con cemento tipo I y tipo II. A su vez, en cada amasada se varió el contenido de cemento entre un 100 y un 80%.

Tabla 12 . Dosificaciones sustitución del agua potable por agua residual

			Cemento [g]	Agua potable [g]	Agua residual [g]	Arena natural [g]	Consistencia [mm]				
							1	2	3	4	Promedio
CEMENTO I	Agua potable	80/0	576	610	0	3617	180	172	177	178	177
		90/0	648	541	0	3617	170	162	168	167	167
		100/0	720	556	0	3617	167	167	168	165	167
	Agua residual	80/0	576	0	567	3656	175	179	180	175	177
		90/0	648	0	569	3656	183	178	180	182	181
		100/0	720	0	576	3656	165	180	177	173	174
CEMENTO II	Agua potable	80/0	576	560	0	3678	165	165	166	166	166
		90/0	648	569	0	3656	170	172	174	171	172
		100/0	720	576	0	3656	177	178	180	177	178
	Agua residual	80/0	576	0	576	3656	175	169	170	173	172
		90/0	648	0	581	3656	171	175	176	175	174
		100/0	720	0	574	3656	170	175	174	172	173

Cada probeta ha sido pesada, sometida a esfuerzos de flexión y de compresión. También se le ha determinado su humedad.

Tabla 13 .Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con agua potable y cemento tipo I.

Ensayo FC 28 días (100/0; 90/0; 80;0) Cemento I Agua POTABLE											
PESO (g)	FLEXIÓN (28 días)			COMPRESIÓN (28 días)							
	REFERENCIA	FUERZ A (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
513,48	80/0 Cem I	1,7871	4,1885	AP CI 80 1-1	21,13	13,206	AC 14	49,37	265,62	260,05	2,64
				AP CI 80 1-2	20,912	13,07	AC 34	46,86	259,03	253,7	2,58
515,41	80/0 Cem I	1,5321	3,5909	AP CI 80 2-1	20,324	12,702	AC 07	52,85	290,91	285,2	2,46
				AP CI 80 2-2	19,82	12,387	AC 13	48,76	253,5	248,71	2,40
514,56	80/0 Cem I	1,7442	4,0879	AP CI 80 3-1	20,083	12,552	AC 03	48,3	245,17	240,19	2,60
				AP CI 80 3-2	20,662	12,914	AC 06	47,5	258,56	253,33	2,54
495,24	90/0 Cem I	2,1659	5,0762	AP CI 90 1-1	26,546	16,591	AC 26	46,62	231,36	226,45	2,73
				AP CI 90 1-2	26,744	16,715	AC 25	52,62	265,79	260,21	2,69
494,56	90/0 Cem I	2,1819	5,1137	AP CI 90 2-1	23,843	14,902	AC 36	45,44	242,72	237,76	2,58
				AP CI 90 2-2	25,394	15,871	AC 22	45,84	236,93	232,07	2,61
495,54	90/0 Cem I	2,0034	4,6955	AP CI 90 3-1	27,023	16,89	AC 40	48,93	255,59	250,21	2,67
				AP CI 90 3-2	26,035	16,272	AC 37	43,4	218,88	214,36	2,64
499,85	100/0 Cem I	2,2491	5,2713	AP CI 100 1-1	31,115	19,447	AC 211	51,73	267,67	261,36	3,01
				AP CI 100 1-2	29,238	18,274	AC 2	49,16	210,56	205,96	2,93
501,5	100/0 Cem I	2,1288	4,9893	AP CI 100 2-1	21,686	13,554	AC01	40,28	238,26	232,6	2,94
				AP CI 100 2-2	31,16	19,475	AC 24	50,68	218,86	214,25	2,82
501,27	100/0 Cem I	1,9768	4,633	AP CI 100 3-1	30,266	18,916	AC 210	46,87	249,39	243,43	3,03
				AP CI 100 3-2	28,526	17,829	AC 23	46,24	225,68	220,52	2,96

Tabla 14.Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con agua potable y cemento tipo II.

Ensayo FC 28 días (100/0; 90/0; 80/0) Cem II Agua POTABLE											
PESO (g)	FLEXIÓN (28 días)			COMPRESIÓN (28 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZ A (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
493,33	80/0 Cem II	1,7358	4,0684	AP CII 80 1-1	15,173	9,483	AC 14	49,37	255,29	250,42	2,42
				AP CII 80 1-2	16,337	10,211	AC 34	46,86	257,2	252,42	2,33
497,71	80/0 Cem II	1,5769	3,6958	AP CII 80 2-1	15,052	9,408	AC 07	52,85	278,99	273,69	2,40
				AP CII 80 2-2	15,512	9,757	AC 13	48,76	208,53	204,83	2,37
491,97	80/0 Cem II	1,5598	3,6558	AP CII 80 3-1	14,88	9,3	AC 03	48,3	279,52	274,13	2,39
				AP CII 80 3-2	15,007	9,379	AC 06	47,5	230,16	225,91	2,38
512,58	90/0 Cem II	1,8473	4,3297	AP CII 90 1-1	19,437	12,148	AC 26	46,62	261,97	256,52	2,60
				AP CII 90 1-2	19,739	12,337	AC 25	52,62	254,08	249,18	2,49
508,48	90/0 Cem II	1,9788	4,6379	AP CII 90 2-1	20,585	12,866	AC 36	45,44	252,89	247,75	2,54
				AP CII 90 2-2	19,394	12,122	AC 22	45,84	234,62	229,94	2,54
509,19	90/0 Cem II	1,9679	4,6123	AP CII 90 3-1	20,533	12,833	AC 40	48,93	250,52	245,34	2,64
				AP CII 90 3-2	20,881	13,051	AC 37	43,4	254,4	249,03	2,61
511,77	100/0 Cem II	2,2664	5,3118	AP CII 100 1-1	21,766	13,604	AC 211	51,73	276,98	271,42	2,53
				AP CII 100 1-2	23,876	14,923	AC 2	49,16	230,09	225,69	2,49
511,48	100/0 Cem II	1,9812	4,6435	AP CII 100 2-1	21,388	13,368	AC 01	40,28	241,24	236,4	2,47
				AP CII 100 2-2	21,935	13,709	AC 24	50,68	289,72	284,14	2,39
510,08	100/0 Cem II	1,8201	4,2659	AP CII 100 3-1	19,941	12,463	AC210	46,87	254,35	249,63	2,33
				AP CII 100 3-2	20,363	12,727	AC 23	46,24	243,97	239,6	2,26

Tabla 15.Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con agua residual y cemento tipo I.

Ensayo FC 28 días (100/0; 90/0; 80/0) Cem I Agua RESIDUAL BELMEZ											
PESO (g)	FLEXIÓN (28 días)			COMPRESIÓN (28 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
478,2	80/0 Cem I Bel	1,5414	3,6126	AB CI 80 1-1	17,911	11,194	F45	57,93	274,08	268,38	2,71
				AB CI 80 1-2	17,953	11,221					
480,94	80/0 Cem I Bel	1,7011	3,987	AB CI 80 2-1	20,155	12,597	AC 06	47,54	248,17	242,39	2,97
				AB CI 80 2-2	18,607	11,629					
481,5	80/0 Cem I Bel	1,4411	3,3775	AB CI 80 3-1	19,82	12,388	AC 4	46,78	264,02	257,86	2,92
				AB CI 80 3-2	19,066	11,916					
492,51	90/0 Cem I Bel	2,1977	5,151	AB CI 90 1-1	25,239	15,774	F19	59,38	277,62	271,06	3,10
				AB CI 90 1-2	23,97	14,918					
492,06	90/0 Cem I Bel	2,1119	4,9497	AB CI 90 2-1	23,378	14,611	F56	54,64	239,56	233,97	3,12
				AB CI 90 2-2	25,34	15,837					
491,31	90/0 Cem I Bel	2,1828	5,1159	AB CI 90 3-1	27,863	17,415	F111	63,46	254,29	248,33	3,22
				AB CI 90 3-2	27,493	17,183					
499,32	100/0 Cem I Bel	2,4741	5,7886	AB CI 100 1-1	35,903	22,44	F5	67,4	270,2	263,23	3,56
				AB CI 100 1-2	34,641	21,651					
496,13	100/0 Cem I Bel	2,2271	5,2197	AB CI 100 2-1	34,69	21,681	F19	59,38	277,62	271,06	3,10
				AB CI 100 2-2	32,778	20,486					
497,7	100/0 Cem I Bel	2,6074	6,1111	AB CI 100 3-1	33,409	20,881	F56	54,64	239,56	233,97	3,12
				AB CI 100 3-2	35,042	21,901					

Tabla 16 .Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con agua residual y cemento tipo II.

Ensayo FC 28 días (100/0; 90/0; 80;0) Cem II Agua RESIDUAL BELMEZ											
PESO (g)	FLEXIÓN (7 días)			COMPRESIÓN (7 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
508,38	80/0 Cem II Bel	1,6419	3,8483	AB CII 80 1-1	14,815	9,259	F 12/MA	55,43	271,94	267,37	2,16
				AB CII 80 1-2	16,737	10,46					
505,43	80/0 Cem II Bel	1,3712	3,2138	AB CII 80 2-1	14,489	9,056	UCO	61,67	262,71	258,31	2,24
				AB CII 80 2-2	16,526	10,328					
512,28	80/0 Cem II Bel	1,416	3,3188	AB CII 80 3-1	14,408	9,005	MG	56,33	255,49	251,11	2,25
				AB CII 80 3-2	15,797	9,873					
509,2	90/0 Cem II Bel	1,5883	3,7226	AB CII 90 1-1	17,885	11,178	F24	61,3	294,99	290,08	2,15
				AB CII 90 1-2	17,68	11,05					
510,02	90/0 Cem II Bel	1,819	4,2633	AB CII 90 2-1	18,207	11,379	F4	61,12	272,18	267,51	2,26
				AB CII 90 2-2	18,025	11,265					
508,17	90/0 Cem II Bel	1,7009	3,9864	AB CII 90 3-1	18,256	11,41	F41/000	60,71	249,28	245,15	2,24
				AB CII 90 3-2	19,261	12,038					
512,41	100/0 Cem II Bel	1,9238	4,509	AB CII 100 1-1	20,627	12,892	AC 19	52,39	254,49	249,97	2,29
				AB CII 100 1-2	20,874	13,046					
511,12	100/0 Cem II Bel	1,9745	4,6277	AB CII 100 2-1	21,693	13,558	AC 40	48,93	261,44	256,41	2,42
				AB CII 100 2-2	21,768	13,605					
513,42	100/0 Cem II Bel	1,5264	3,5775	AB CII 100 3-1	19,517	12,198	AC 25	52,62	275,6	270,77	2,21
				AB CII 100 3-2	20,1	12,562					

Tabla 17. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual

			Peso promedio [g]	Desviación estándar [g]	Pab/Pap
CEMENTO I	Agua potable	80/0	514,48	0,97	
		90/0	495,11	0,50	
		100/0	500,87	0,89	
	Agua residual	80/0	480,21	1,77	0,93
		90/0	491,96	0,61	0,99
		100/0	497,72	1,60	0,99
CEMENTO II	Agua potable	80/0	494,34	3,00	
		90/0	510,08	2,19	
		100/0	511,11	0,90	
	Agua residual	80/0	508,70	3,44	1,03
		90/0	509,13	0,93	1,00
		100/0	497,72	1,15	0,97

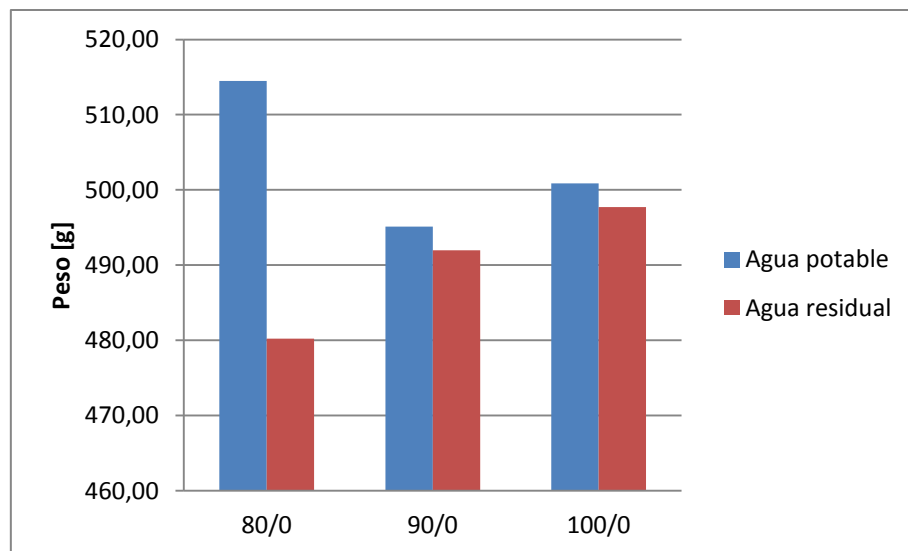


Figura 69. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo I

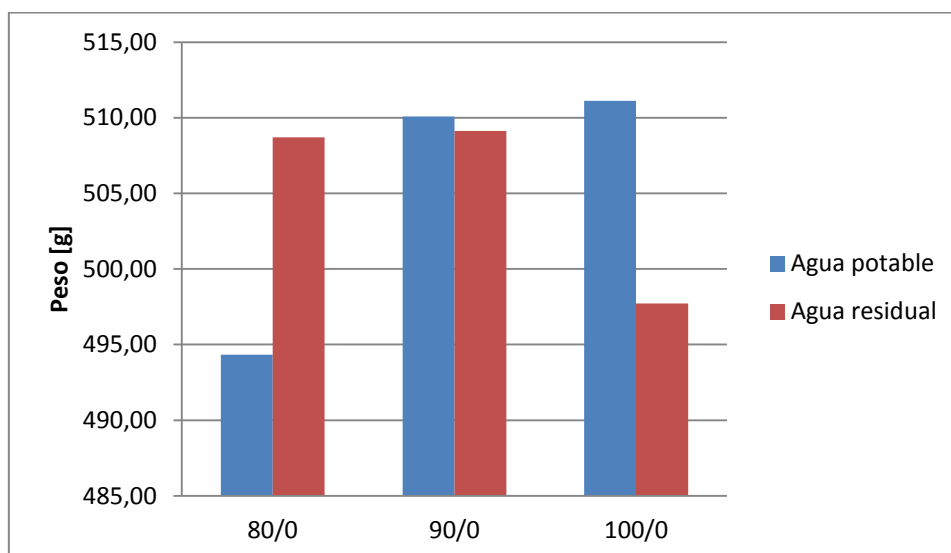


Figura 10. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo II

Observamos que el sustituir el agua potable por agua residual tratada tiene poca incidencia sobre el peso de la probeta. Curiosamente la máxima variación se observa en la dosificación 80/0, en que la probeta elaborada con cemento tipo I tuvo una disminución de un 7% mientras que la elaborada con tipo II, una disminución del 3%.

Tabla 18. Comparación entre la resistencia a flexión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual

			Resistencia flexión promedio [Mpa]	Desviación estándar [g]	Rar/Rap
CEMENTO I	Agua potable	80/0	3,96	0,32	
		90/0	4,96	0,23	
		100/0	4,96	0,32	
	Agua residual	80/0	3,66	0,31	0,92
		90/0	5,07	0,11	1,02
		100/0	5,71	0,45	1,15
CEMENTO II	Agua potable	80/0	3,81	0,23	
		90/0	4,53	0,17	
		100/0	4,74	0,53	
	Agua residual	80/0	3,46	0,34	0,91
		90/0	3,99	0,27	0,88
		100/0	4,24	0,58	0,89

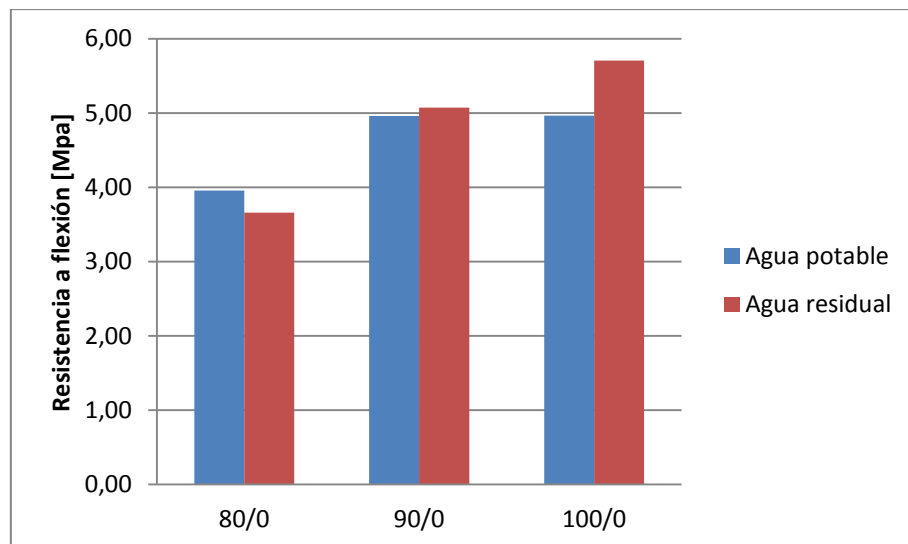


Figura 71. Comparación entre la resistencia a flexión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo I

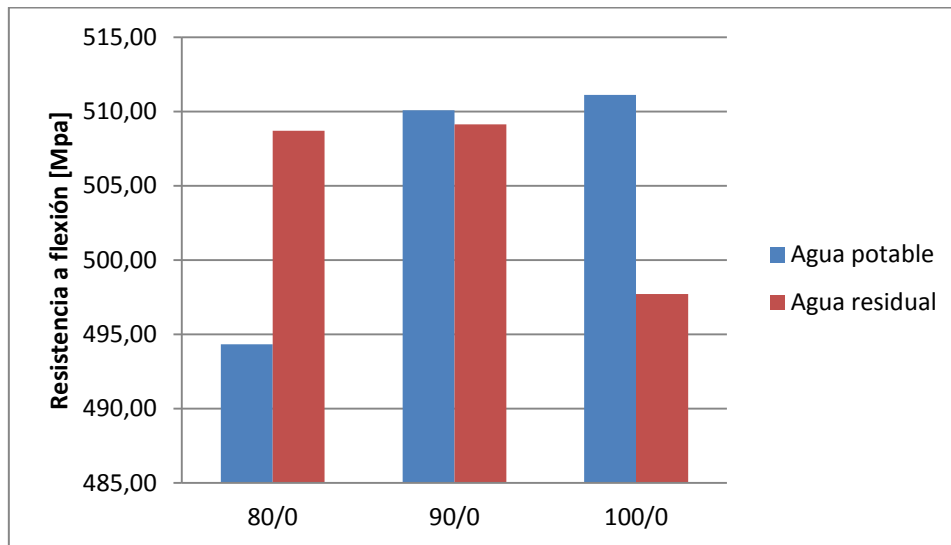


Figura 72. Comparación entre la resistencia a flexión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo II

Queda evidente que el uso del cemento tipo II representa una desventaja en el desarrollo de la resistencia. Todas las probetas elaboradas con este tipo de cemento sufrieron una disminución de la resistencia a flexión con respecto a la probeta patrón, en torno a un 10%. Sin embargo observamos un aumento de la resistencia cuando se emplea cemento tipo I. Efecto que disminuye al reducir la dosis de cemento. Esto nos indica que el éxito del empleo del agua residual tratada está estrechamente ligado a la dosificación de la mezcla de mortero.

Tabla 19. Comparación entre la resistencia a compresión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual

			Resistencia compresión promedio [Mpa]	Desviación estándar [g]	Rar/Rap
CEMENTO I	Agua potable	80/0	12,81	0,31	
		90/0	16,21	0,73	
		100/0	17,92	2,23	
	Agua residual	80/0	11,82	0,59	0,92
		90/0	15,96	1,15	0,98
		100/0	21,51	0,71	1,20
CEMENTO II	Agua potable	80/0	9,59	0,34	
		90/0	12,56	0,41	
		100/0	13,47	0,87	
	Agua residual	80/0	9,66	0,65	1,01
		90/0	11,39	0,35	0,91
		100/0	12,98	0,55	0,96

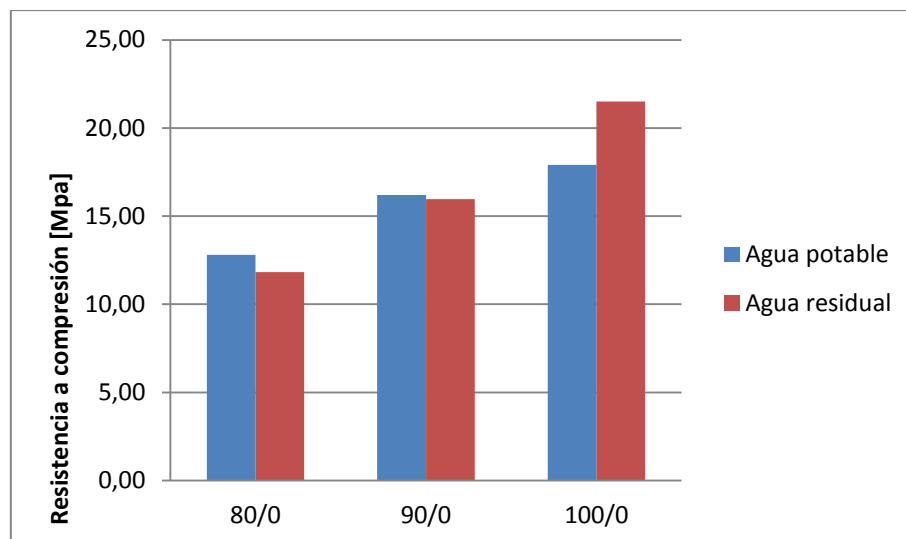


Figura 73. Comparación entre la resistencia a compresión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo I

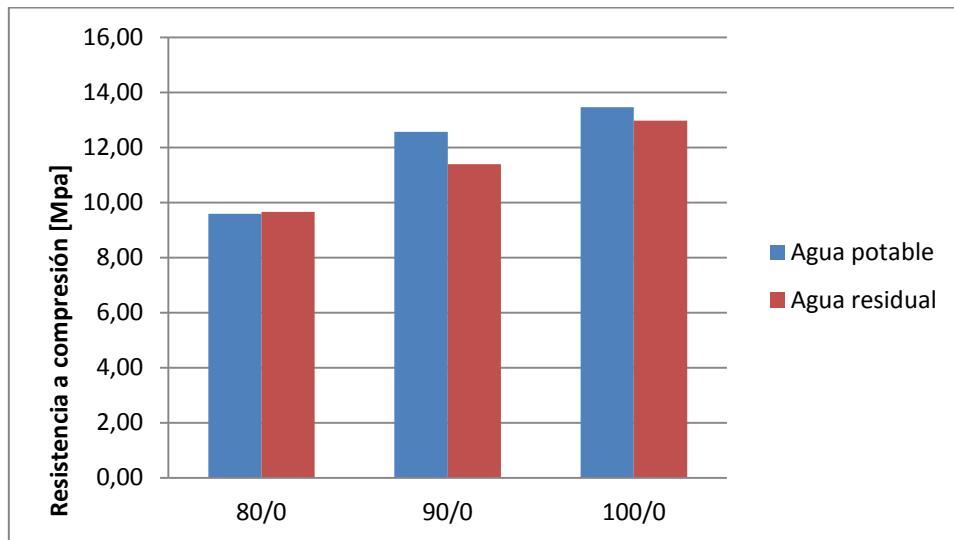


Figura 74. Comparación entre la resistencia a compresión a los 28 días de las probetas elaboradas con agua potable y las elaboradas con agua residual. Cemento tipo II

Nuevamente observamos un incremento de la resistencia cuando la dosis del cemento es del 100%. Un aumento del 20% que disminuye a medida que lo hace la dosis de cemento. El uso de cemento tipo II parece afectar más la resistencia a tracción que a compresión, sin embargo no nos ofrece aumentos significativos.

Resistencia a flexión y compresión de morteros elaborados con RCD y cenizas volantes de biomasa

Tabla 20. Dosificaciones arena natural, residuos de demolición y construcción (RCD), filler silíceo y cenizas de biomasa Puente Genil

			Cemento [g]	Agua [g]	Filler [g]	Arena natural [g]	Agua/AguaANSF	Consistencia [mm]				
								1	2	3	4	Promedio
Arena Natural	Filler silíceo	1	672	556	280	3399	1,00	180	185	185	180	183
		2	672	550	280	3399	0,99	180	180	184	182	182
		3	672	550	280	3399	0,99	175	180	180	175	178
	Cenizas biomasa	1	672	710	261	3399	1,28	168	165	165	163	165
		2	672	716	261	3399	1,29	168	166	170	171	169
		3	672	716	261	3399	1,29	170	167	171	170	170
RCD	Filler silíceo	1	672	692	280	3113	1,24	173	176	174	176	175
		2	672	690	280	3113	1,24	171	179	177	177	176
		3	672	690	280	3113	1,24	175	177	177	178	177
	Cenizas biomasa	1	672	880	261	3113	1,58	175	183	183	184	181
		2	672	875	261	3113	1,57	182	175	178	180	179
		3	672	875	261	3113	1,57	178	182	174	178	178

Tabla 21.Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con arena natural y filler silíceo.

Ensayo FC 28 días Arena Natural Filler Silíceo											
PESO (g)	FLEXIÓN (28 días)			COMPRESIÓN (28 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
539,45	AN SF 1	2,7369	6,4147	AN SF 1-1	45,221	28,263	AC 06	47,50	237,15	230,52	3,62
				AN SF 1-2	37,737	23,586					
542,75	AN SF 1	2,5876	6,0646	AN SF 1-3	45,071	28,169	AC 2	49,16	269,45	261,66	3,67
				AN SF 1-4	40,908	25,568					
547,61	AN SF 2	3,2883	7,7069	AN SF 2-1	49,657	31,035	AC 22	45,84	271,28	262,99	3,82
				AN SF 2-2	45,263	28,289					
547,99	AN SF 2	3,0045	7,0417	AN SF 2-3	48,557	30,348	AC 30	49,08	259,14	251,52	3,76
				AN SF 2-4	43,881	27,425					
540,36	AN SF 3	2,6708	6,2596	AN SF 3-1	45,259	28,287	AC 34	46,86	274,56	266,73	3,56
				AN SF 3-2	41,376	25,860					
543,79	AN SF 3	2,7599	6,4684	AN SF 3-3	45,624	28,515	AC 11	50,19	265,43	258,08	3,54
				AN SF 3-4	42,892	26,807					

Tabla 22.Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con RCD y filler silíceo

Ensayo FC 28 días RCD Filler silíceo											
PESO (g)	FLEXIÓN (28 días)			COMPRESIÓN (28 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
475,78	AR SF 1	2,3472	5,5013	AR SF 1-1	32,306	20,191	AC 39	47,61	226,43	214,89	6,90
				AR SF 1-2	35,558	22,224					
474,93	AR SF 1	2,4214	5,6752	AR SF 1-3	32,562	20,351	AC 32	43,18	236,70	224,29	6,85
				AR SF 1-4	35,558	22,223					
468,85	AR SF 2	2,2221	5,2081	AR SF 2-1	29,323	18,327	AC 04	52,48	239,30	227,51	6,74
				AR SF 2-2	32,666	20,416					
469,52	AR SF 2	2,3115	5,4176	AR SF 2-3	29,213	18,258	AC 03	48,30	225,92	214,73	6,72
				AR SF 2-4	32,835	20,522					
467,02	AR SF 3	1,9410	4,5492	AR SF 3-1	27,775	17,359	AC 01	40,28	221,16	209,65	6,80
				AR SF 3-2	28,926	18,079					
466,63	AR SF 3	2,2547	5,2844	AR SF 3-3	28,493	17,808	AC 38	48,02	231,68	220,13	6,71
				AR SF 3-4	28,751	17,969					

Tabla 23 .Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil

Ensayo FC 28 días Arena natural. Cenizas de biomasa Puente Genil											
PESO (g)	FLEXIÓN (28 días)			COMPRESIÓN (28 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
532,59	AN CBPG 1	2,3671	5,5479	AN CBPG 1-1	30,722	19,201	AC 06	47,50	253,92	242,65	5,78
				AN CBPG 1-2	29,843	18,652					
535,04	AN CBPG 1	2,5200	5,9062	AN CBPG 1-3	30,390	18,994	AC 2	49,16	264,99	252,99	5,89
				AN CBPG 1-4	30,068	18,792					
529,03	AN CBPG 2	2,2055	5,1691	AN CBPG 2-1	29,183	18,239	AC 22	45,84	244,83	233,30	6,15
				AN CBPG 2-2	28,685	17,928					
530,50	AN CBPG 2	2,3098	5,4135	AN CBPG 2-3	29,759	18,599	AC 30	49,08	252,59	240,74	6,18
				AN CBPG 2-4	28,819	18,012					
488,34	AN CBPG 3	2,3183	5,4336	AN CBPG 3-1	28,188	17,618	AC 34	46,86	258,27	246,92	5,67
				AN CBPG 3-2	25,862	16,164					
489,65	AN CBPG 3	2,7760	6,5063	AN CBPG 3-3	28,139	17,587	AC 11	50,19	242,43	232,05	5,71
				AN CBPG 3-1	27,547	17,217					

Tabla 24.Resultados a flexión y compresión a los 28 días, probetas elaboradas con RCD y cenizas de biomasa
Puente Genil

Ensayo FC 28 días RCD Cenizas de biomasa Puente Genil											
PESO (g)	FLEXIÓN (28 días)			COMPRESIÓN (28 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
492,88	AR CBPG 1	2,3861	5,5924	AR CBPG 1-1	20,477	12,798	AC 39	47,61	231,52	216,95	8,60
				AR CBPG 1-2	21,351	13,345					
493,46	AR CBPG 1	2,1348	5,0035	AR CBPG 1-3	20,867	13,042	AC 32	43,18	245,08	229,08	8,61
				AR CBPG 1-4	21,631	13,519					
532,59	AR CBPG 2	2,3922	5,6067	AR CBPG 2-1	22,200	13,875	AC 04	52,48	236,03	220,95	8,95
				AR CBPG 2-2	23,374	14,609					
535,04	AR CBPG 2	2,0708	4,8534	AR CBPG 2-3	23,404	14,627	AC 03	48,30	227,86	212,96	9,05
				AR CBPG 2-4	23,810	14,881					
529,03	AR CBPG 3	2,2735	5,3285	AR CBPG 3-1	22,441	14,026	AC 01	40,28	225,12	209,79	9,04
				AR CBPG 3-2	22,155	13,847					
530,50	AR CBPG 3	2,0065	4,7028	AR CBPG 3-3	21,664	13,540	AC 38	48,02	220,32	206,20	8,93
				AR CBPG 3-4	21,312	13,320					

Tabla 25.Resultados a flexión y compresión a los 7 días, probetas elaboradas con arena natural y filler silíceo.

Ensayo FC 7 días Arena Natural Filler Silíceo											
PESO (g)	FLEXIÓN (7 días)			COMPRESIÓN (7 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
543,80	AN SF 1	2,1865	5,1247	AN SF 1-1	40,314	25,196	AC 22	45,84	260,56	250,92	4,70
				AN SF 1-2	34,327	21,454	AC 32	43,18	251,86	243,29	4,28
553,21	AN SF 2	2,2740	5,3297	AN SF 2-1	41,329	25,830	AC 12	48,95	273,12	262,23	5,11
				AN SF 2-2	41,914	26,196	AC 24	50,68	246,71	238,16	4,56
545,12	AN SF 3	2,6088	6,1143	AN SF 3-1	41,797	26,123	AC 01	40,28	253,88	243,97	4,87
				AN SF 3-2	36,372	22,733	AC 2	49,16	253,75	245,47	4,22

Tabla 26.Resultados a flexión y compresión a los 7 días, probetas elaboradas con RCD y filler silíceo

Ensayo FC 7 días RCD Filler silíceo											
PESO (g)	FLEXIÓN (7 días)			COMPRESIÓN (7 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
484,32	AR SF 1	1,8915	4,4333	AR SF 1-1	30,694	19,184	AC 210	46,87	266,15	248,71	8,64
				AR SF 1-2	31,266	19,541	AC 34	46,86	214,85	200,21	9,55
479,33	AR SF 2	1,9430	4,5540	AR SF 2-1	27,826	17,391	AC 44	49,91	245,64	230,47	8,40
				AR SF 2-2	28,460	17,787	AC 23	46,24	227,54	211,69	9,58
473,54	AR SF3	1,7553	4,1139	AR SF 3-1	26,876	16,797	AC 25	52,62	251,56	235,48	8,79
				AR SF 3-2	27,692	17,308	AC 40	48,93	241,54	224,63	9,62

Tabla 27.Resultados a flexión y compresión a los 7 días, probetas elaboradas con arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil

Ensayo FC 7 días Arena natural. Cenizas de biomasa Puente Genil											
PESO (g)	FLEXIÓN (7 días)			COMPRESIÓN (7 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
541,56	AN CBPG 1	1,4971	3,5089	AN CBPG 1-1	24,533	15,333	AC 25	52,62	262,11	246,59	8,00
				AN CBPG 1-2	26,149	16,343	AC 40	48,93	290,34	272,85	7,81
536,73	AN CBPG 2	1,5852	3,7152	AN CBPG 2-1	24,494	15,308	AC 24	50,68	279,66	260,75	9,00
				AN CBPG 2-2	24,737	15,461	AC 210	46,87	270,36	253,18	8,33
534,74	AN CBPG 3	1,6716	3,9177	AN CBPG 3-1	23,027	14,392	AC 12	48,95	275,24	257,52	8,50
				AN CBPG 3-2	23,189	14,493	AC 34	46,86	253,05	238,33	7,69

Tabla 28.Resultados a flexión y compresión a los 7 días, probetas elaboradas con RCD y cenizas de biomasa Puente Genil

Ensayo FC 7 días RCD Cenizas de biomasa Puente Genil											
PESO (g)	FLEXIÓN (7 días)			COMPRESIÓN (7 días)							
	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA	FUERZA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)	REFERENCIA TARA	PESO TARA (g)	Peso T+W+S (g)	Peso T+S (g)	% Humedad
452,53	AR CBPG 1	1,4763	3,4601	AR CBPG 1-1	18,314	11,446	AC 2	49,16	240,34	219,06	12,53
				AR CBPG 1-2	18,613	11,633	AC 22	45,84	230,49	209,18	13,05
467,23	AR CBPG 2	1,4217	3,3320	AR CBPG 2-1	19,856	12,410	AC 01	40,28	222,92	200,54	13,96
				AR CBPG 2-2	19,963	12,477	AC 23	46,24	256,64	229,07	15,08
465,92	AR CBPG 3	1,4873	3,4858	AR CBPG 3-1	18,314	11,446	AC 44	49,91	236,13	211,43	15,29
				AR CBPG 3-2	18,880	11,800	AC 32	43,18	243,97	216,74	15,69

Tabla 29. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo

			28 días			7 días	
			Peso promedio [g]	Desviación estándar [g]	P/PANSF	Peso [g]	P/PANSF
Arena Natural	Filler silíceo	1	541,10	2,33	1,00	543,80	1,00
		2	547,80	0,27	1,01	553,21	1,02
		3	542,08	2,43	1,00	545,12	1,00
	Cenizas biomasa	1	533,82	1,73	0,99	541,56	1,00
		2	529,77	1,04	0,98	536,73	0,99
		3	489,00	0,93	0,90	534,74	0,98
RCD	Filler silíceo	1	475,36	0,60	0,88	484,32	0,89
		2	469,19	0,47	0,87	479,33	0,88
		3	466,83	0,28	0,86	473,54	0,87
	Cenizas biomasa	1	493,17	0,41	0,91	452,53	0,83
		2	533,82	1,73	0,99	467,23	0,86
		3	529,77	1,04	0,98	465,92	0,86

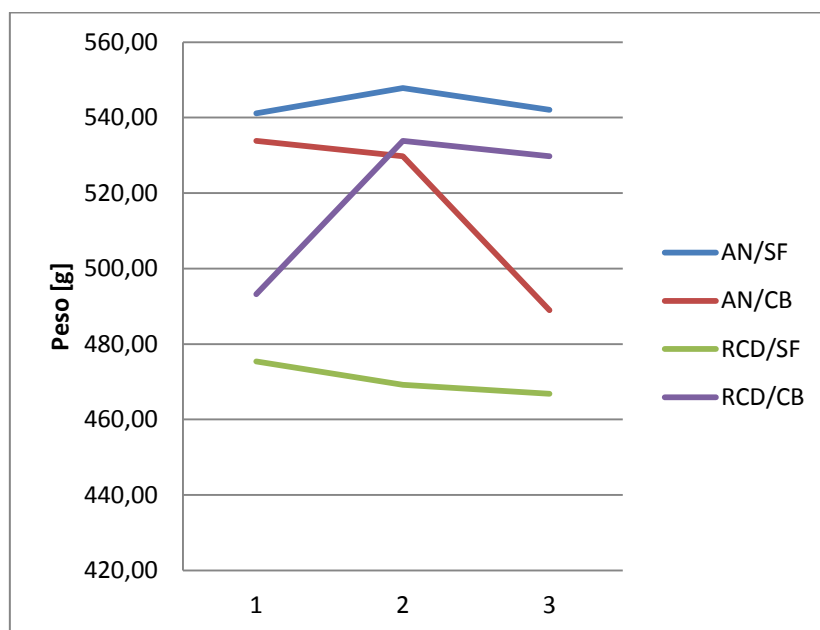


Figura 75. Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 28 días

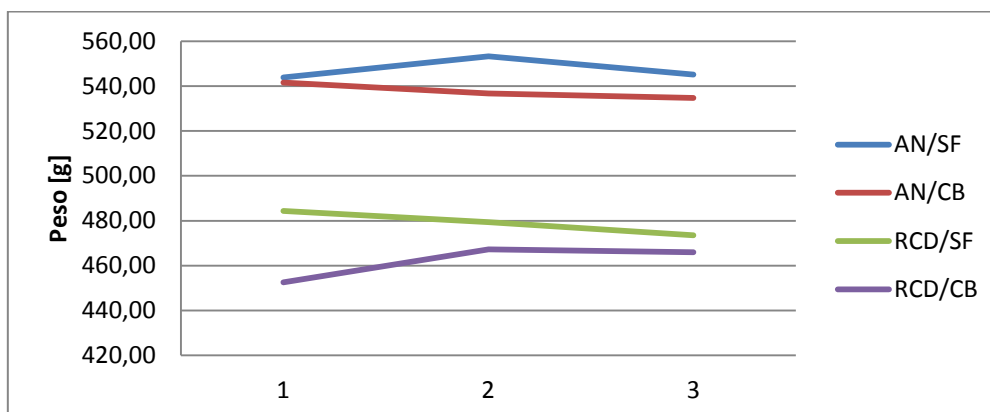


Figura 76 Comparación entre los pesos de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 7 días

La probeta más pesada es aquella elaborada con arena natural y filler silíceo, la probeta patrón. Le sigue muy cerca las probetas de arena natural y ceniza de biomasa y finalmente las elaboradas con RCD, con una disminución del peso superior al 10%. Lo cual es congruente con la diferencia de densidades entre la arena y el RCD, siendo este último más ligero.

Tabla 30. Comparación entre las resistencias a flexión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo

			28 días			7 días	
			Resistencia flexión promedio [Mpa]	Desviación estándar [g]	RF/RFANSF	Resistencia flexión [Mpa]	RF/RFANSF
Arena Natural	Filler silíceo	1	6,24	0,25	1,00	5,12	1,00
		2	7,37	1,16	1,18	5,33	1,04
		3	6,36	0,15	1,02	6,11	1,19
	Cenizas biomasa	1	5,73	0,25	0,92	3,51	0,68
		2	5,29	0,17	0,85	3,72	0,72
		3	5,97	0,76	0,96	3,92	0,76
RCD	Filler silíceo	1	5,59	0,12	0,90	4,43	0,87
		2	5,31	0,15	0,85	4,55	0,89
		3	4,92	0,52	0,79	4,1139	0,80
	Cenizas biomasa	1	5,30	0,42	0,85	3,46	0,68
		2	5,23	0,53	0,84	3,3320	0,65
		3	5,02	0,44	0,80	3,49	0,68

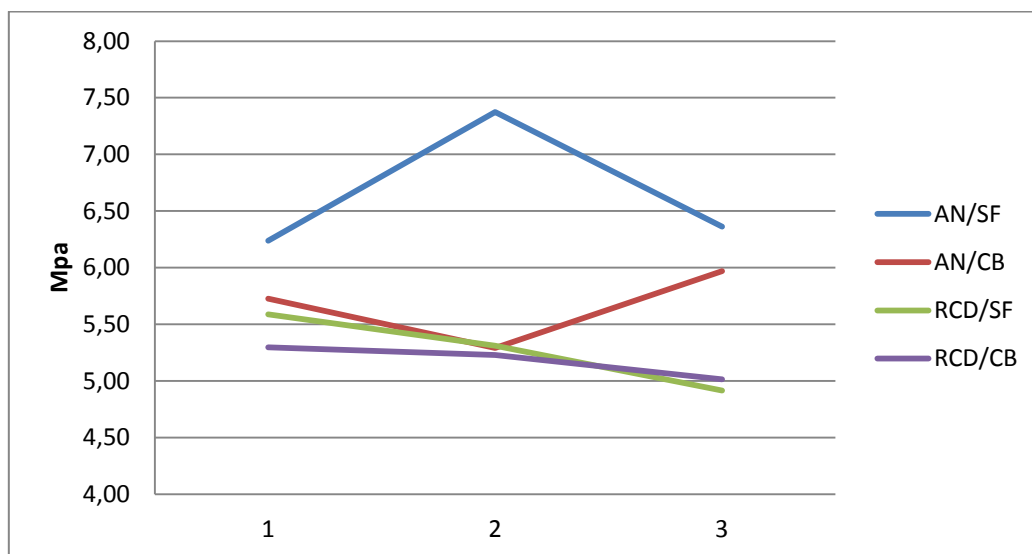


Figura 77 comparación entre las resistencias a flexión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 28 días

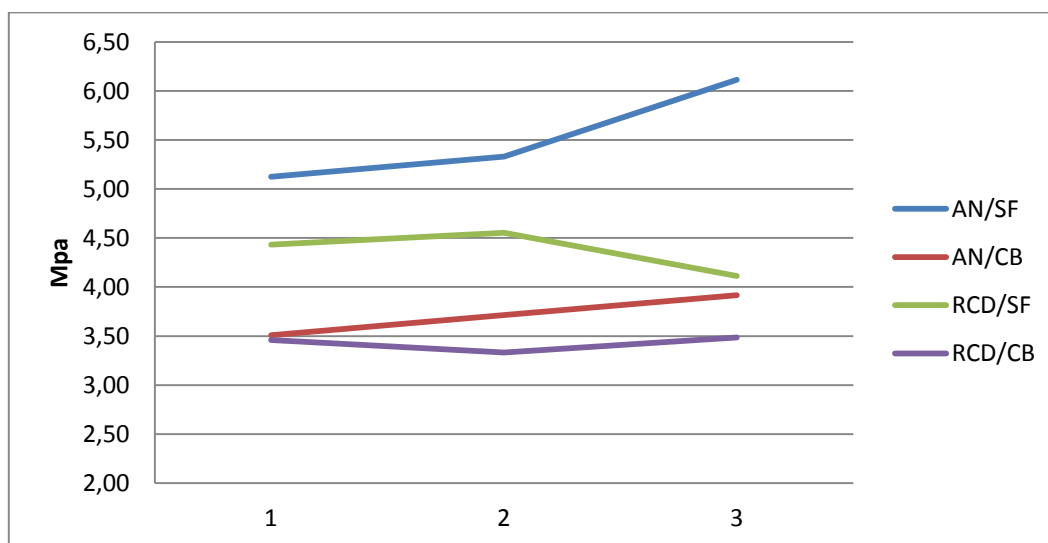


Figura 78. Comparación entre las resistencias a flexión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 7 días.

Si sustituimos el filler silíceo por cenizas de biomasa, la resistencia a flexión disminuye en un 5% aproximadamente. Si solo sustituimos la arena por RCD, la disminución es de un 15%. Y si sustituimos tanto la arena natural como el filler silíceo, la reducción es del 17%. Lo cual indica que el uso del RCD afecta más la resistencia a flexión que el uso de cenizas volantes de biomasa. Sin embargo, en estos resultados destaca la diferencia entre los valores de una muestra y otra. A los 7 días los porcentajes de reducción son más críticos.

Tabla 31. Comparación entre las resistencias a compresión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo

			28 días			7 días		
			Resistencia flexión promedio [Mpa]	Desviación estándar [g]	RC/RC ANSF	Resistencia flexión promedio [Mpa]	Desviación estándar [g]	RC/RCA NSF
Arena Natural	Filler silíceo	1	26,40	2,25	1,00	23,33	2,65	1,00
		2	29,27	1,70	1,11	26,01	0,26	1,12
		3	27,37	1,26	1,04	24,43	2,40	1,05
	Cenizas biomasa	1	18,91	0,24	0,72	15,84	0,71	0,68
		2	18,19	0,30	0,69	15,38	0,11	0,66
		3	17,15	0,68	0,65	14,44	0,07	0,62
RCD	Filler silíceo	1	21,25	1,13	0,80	19,36	0,25	0,83
		2	19,38	1,26	0,73	17,59	0,28	0,75
		3	17,80	0,32	0,67	17,05	0,36	0,73
	Cenizas biomasa	1	13,18	0,32	0,50	11,54	0,13	0,49
		2	14,50	0,43	0,55	12,44	0,05	0,53
		3	13,68	0,31	0,52	11,62	0,25	0,50

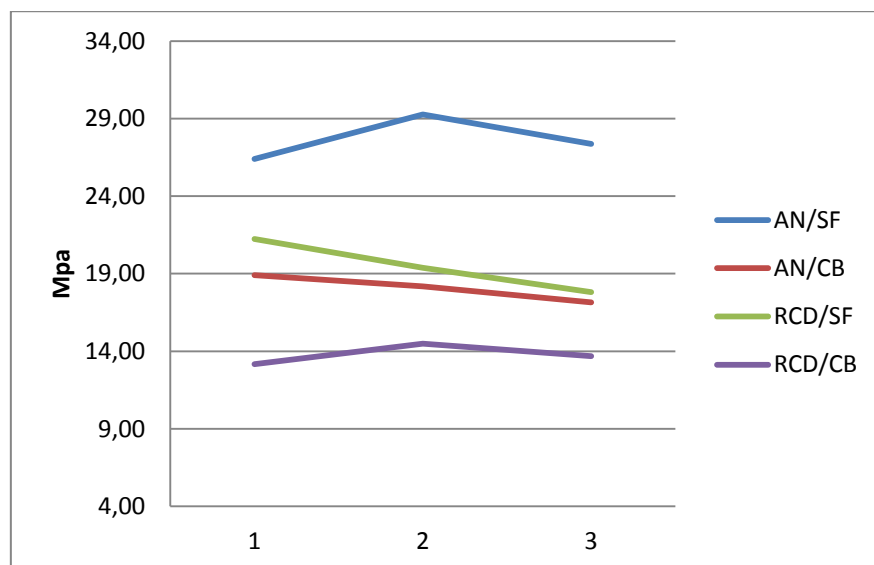


Figura 79. Comparación entre las resistencias a compresión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler silíceo. A 28 días

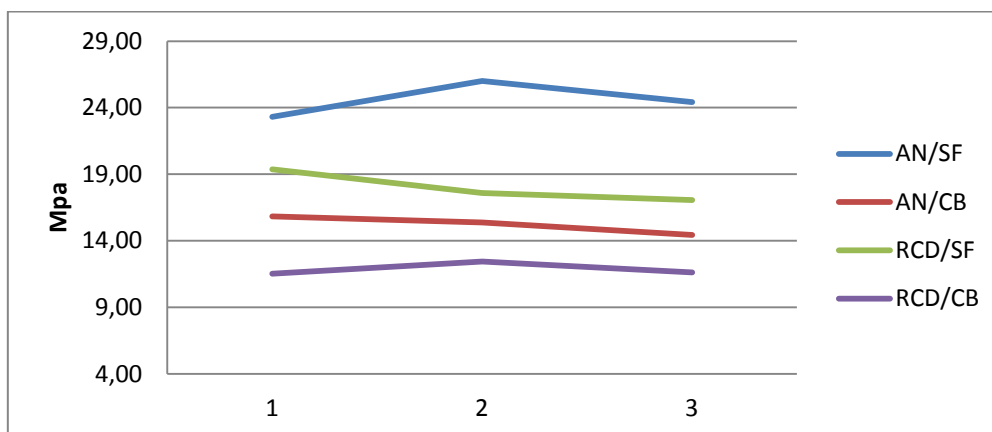


Figura 80. Comparación entre las resistencias a compresión de las probetas elaboradas con arena natural, RCD, cenizas de biomasa Puente Genil y Filler sílice. A 7 días

Si sustituimos el filler sílice por cenizas de biomasa, la resistencia a compresión disminuye en un 30% aproximadamente. Si solo sustituimos la arena por RCD, la disminución es de un 23%. Y si sustituimos tanto la arena natural como el filler sílice, la reducción es del 47%. Lo cual indica que el uso de cenizas afecta más la resistencia a compresión que el uso de RCD. En estos resultados también destaca la diferencia entre los valores de una muestra y otra. A los 7 días los porcentajes de reducción son similares.

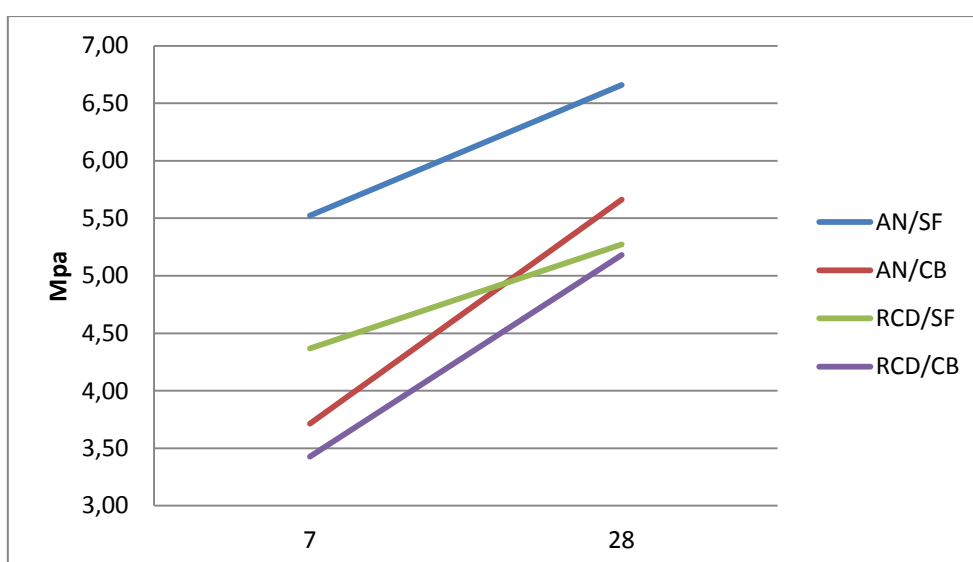


Figura 82. Evolución de la resistencia a flexión de los morteros

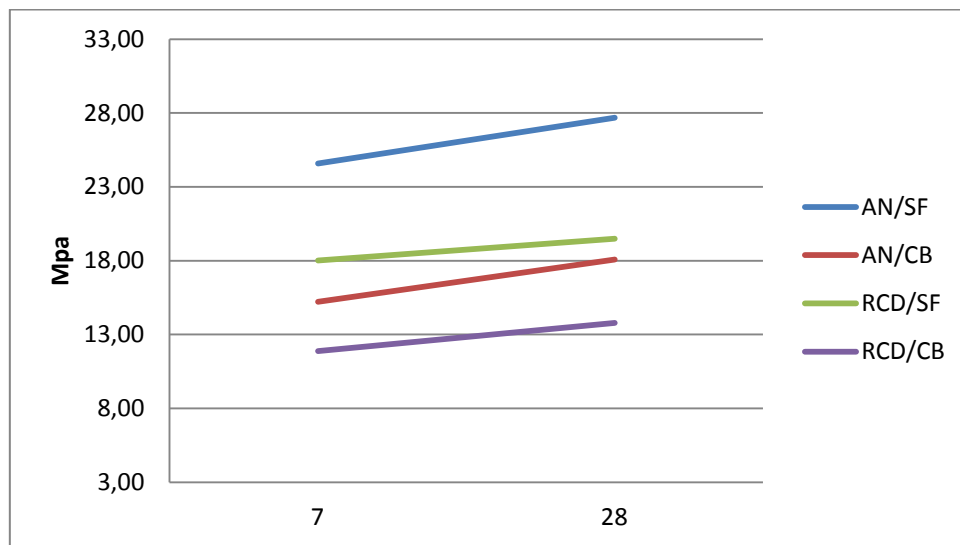


Figura 83. Evolución de la resistencia a tracción de los morteros

El desarrollo de resistencia es similar en todos los casos, excepto en el del mortero de RCD con filler silicio, que tiene una cinética más lenta. El uso de cenizas volantes de biomasa de Puente Genil acelera el desarrollo de la resistencia a flexión.

Tabla 32 Dosificación mortero de arena natural y filler silíceo. Ensayo retracción

MUESTRA:	AN SF
Dosificación	Gramos
AN	3399
FILLER	280
CEMENTO	672
AGUA	550
Consistencia=	174,00

Tabla 33 Resultados mortero de arena natural y filler silíceo

FECHA	EDAD	PESO (gr)			Media (gr)	Desviación estándar	LECTURA (mm)			Media (mm)			Retracción (mm/m)			Retracción (mm/m)	Desviación estándar
		X	Y	Z			X	Y	Z	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz		
13/05/2014	2D	571,32	575,22	577,53	574,69	3,14	-1,765	-1,771	-1,741	- 1,765	- 1,772	- 1,741	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
							-1,765	-1,772	-1,741								
							-1,766	-1,773	-1,740								
				LONGITUD PROBETA			158,235	158,228	158,259								
19/05/2014	7D	547,03	550,05	552,58	549,89	2,78	-1,808	-1,834	-1,782	- 1,809	- 1,834	- 1,782	- 0,274	- 0,390	- 0,261	-0,308	0,071
							-1,809	-1,834	-1,782								
							-1,809	-1,833	-1,782								
26/05/2014	14D	545,09	547,72	550,19	547,67	2,55	-1,836	-1,864	-1,810	- 1,836	- 1,864	- 1,812	- 0,449	- 0,581	- 0,449	-0,493	0,077
							-1,836	-1,864	-1,812								
							-1,837	-1,864	-1,813								
09/06/2014	28D	545,22	547,79	550,28	547,76	2,53	-1,852	-1,887	-1,826	- 1,852	- 1,888	- 1,826	- 0,550	- 0,731	- 0,539	-0,607	0,108
							-1,852	-1,888	-1,826								
							-1,853	-1,888	-1,826								

Tabla 34 Variación longitudinal mortero de arena natural y filler silíceo

Edad (días)	EDAD	Rx	Ry	Rz	RETRACCIÓN
2	2D	0,000	0,000	0,000	0,0000
7	7D	-0,274	-0,390	-0,261	-0,3083
14	14D	-0,449	-0,581	-0,449	-0,4929
28	28D	-0,550	-0,731	-0,539	-0,6067

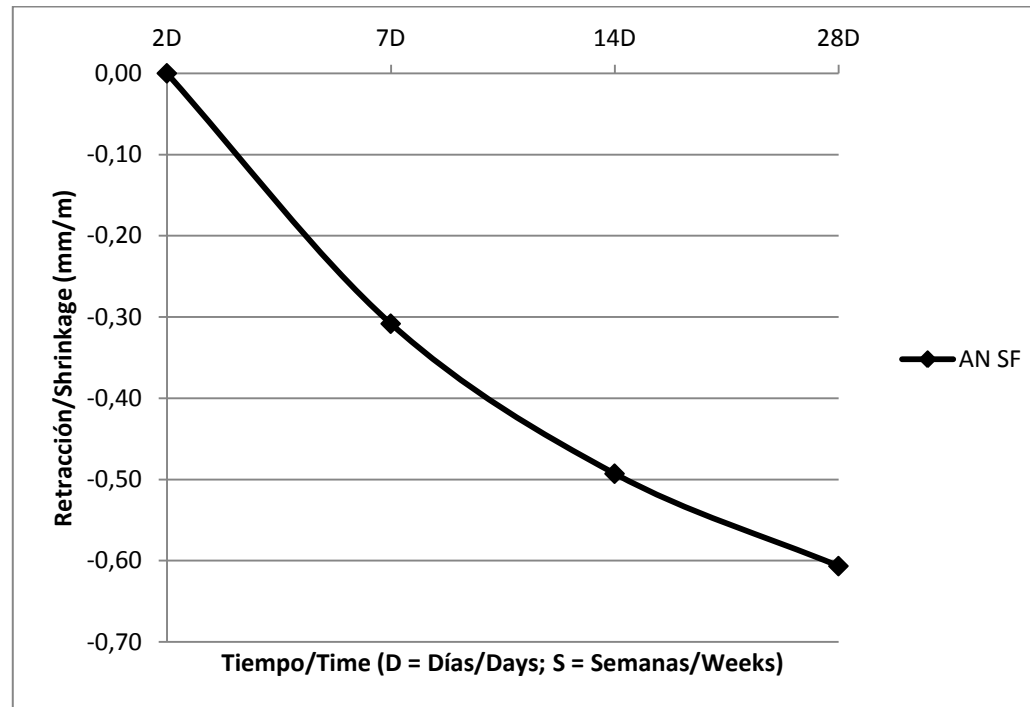


Figura 84 Variación longitudinal mortero de arena natural y filler silíceo

Tabla 35 Variación másica mortero de arena natural y filler silíceo

Edad (días)	EDAD	Mx	My	Mz	ΔMx	ΔMy	ΔMz	MEDIA	ΔM
2	2D	571,320	575,220	577,530	0,000	0,000	0,000	574,690	0,000
7	7D	547,030	550,05	552,580	-24,290	-25,170	-24,950	549,887	-24,803
14	14D	545,090	547,720	550,190	-26,230	-27,500	-27,340	547,667	-27,023
28	28D	545,220	547,790	550,280	-26,100	-27,430	-27,250	547,763	-26,927

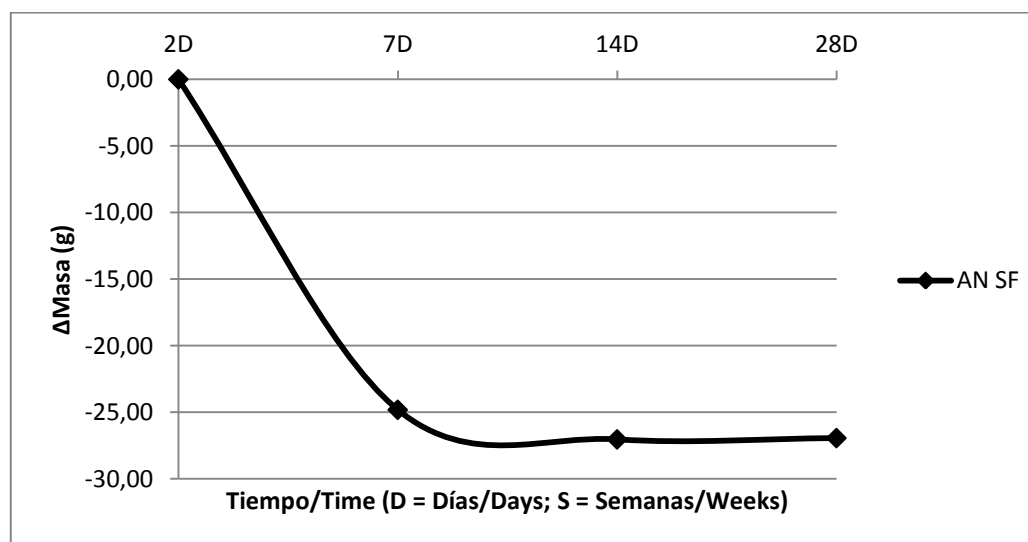


Figura 85 Variación másica mortero de arena natural y filler silíceo

Tabla 36 Dosificación mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo retracción

MUESTRA:	AN CBPG
Dosificación	Gramos
AN	3399
CBPG	261
CEMENTO	672
AGUA	716
Consistencia=	182

Tabla 37 Resultados mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil

FECHA	EDAD	PESO (gr)			Media (gr)	Desviación estándar	LECTURA (mm)			Media (mm)			Retracción (mm/m)			Retracción (mm/m)	Desviación estándar
		X	Y	Z			X	Y	Z	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz		
13/05/2014	2D	565,98	565,22	564,87	565,36	0,57	-1,983	-2,035	-2,048	-1,984	-2,036	-2,049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
							-1,985	-2,037	-2,050								
							-1,985	-2,037	-2,049								
				LONGITUD PROBETA			158,016	157,964	157,951								
19/05/2014	7D	544,86	545,02	546,38	545,42	0,84	-2,056	-2,091	-2,096	-2,056	-2,091	-2,097	-0,456	-0,348	-0,304	-0,369	0,078
							-2,056	-2,091	-2,097								
							-2,057	-2,092	-2,098								
26/05/2014	14D	536,68	536,42	536,87	536,66	0,23	-2,154	-2,203	-2,189	-2,155	-2,203	-2,190	-1,078	-1,057	-0,893	-1,009	0,102
							-2,155	-2,203	-2,190								
							-2,155	-2,204	-2,191								
09/06/2014	28D	535,07	534,62	534,90	534,86	0,23	-2,196	-2,243	-2,231	-2,196	-2,243	-2,232	-1,340	-1,310	-1,161	-1,270	0,096
							-2,196	-2,243	-2,232								
							-2,196	-2,244	-2,234								

Tabla 38 Variación longitudinal mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil

Edad (días)	EDAD	Rx	Ry	Rz	RETRACCIÓN
2	2D	0,000	0,000	0,000	0,0000
7	7D	-0,456	-0,348	-0,304	-0,3692
14	14D	-1,078	-1,057	-0,893	-1,0093
28	28D	-1,340	-1,310	-1,161	-1,2702

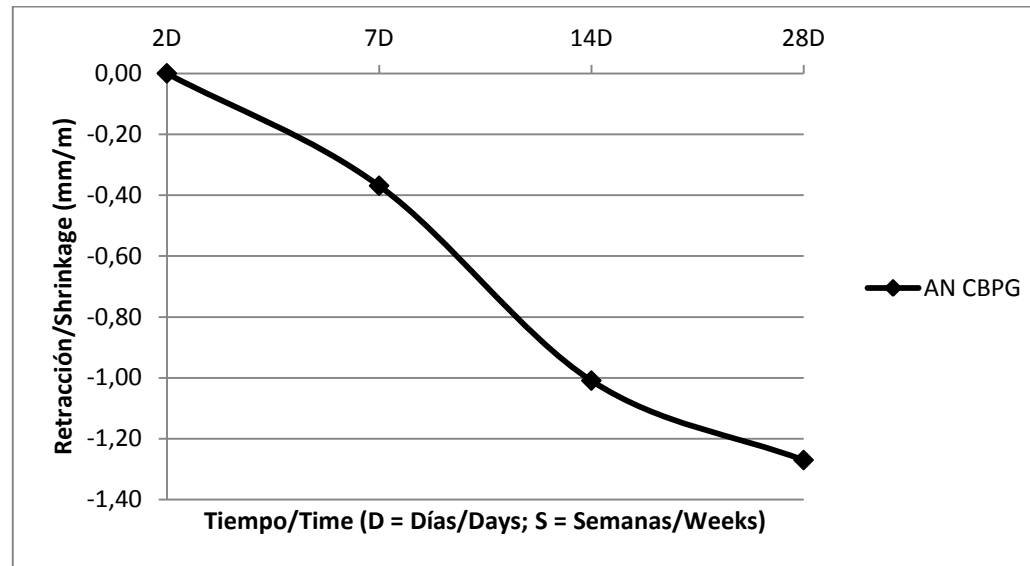


Figura 86 Variación longitudinal mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil

Tabla 39 Variación másica mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil

Edad (días)	EDAD	Mx	My	Mz	ΔM_x	ΔM_y	ΔM_z	MEDIA	ΔM
2	2D	565,980	565,220	564,870	0,000	0,000	0,000	565,357	0,000
7	7D	544,860	545,02	546,380	-21,120	-20,200	-18,490	545,420	-19,937
14	14D	536,680	536,420	536,870	-29,300	-28,800	-28,000	536,657	-28,700
28	28D	535,070	534,620	534,900	-30,910	-30,600	-29,970	534,863	-30,493

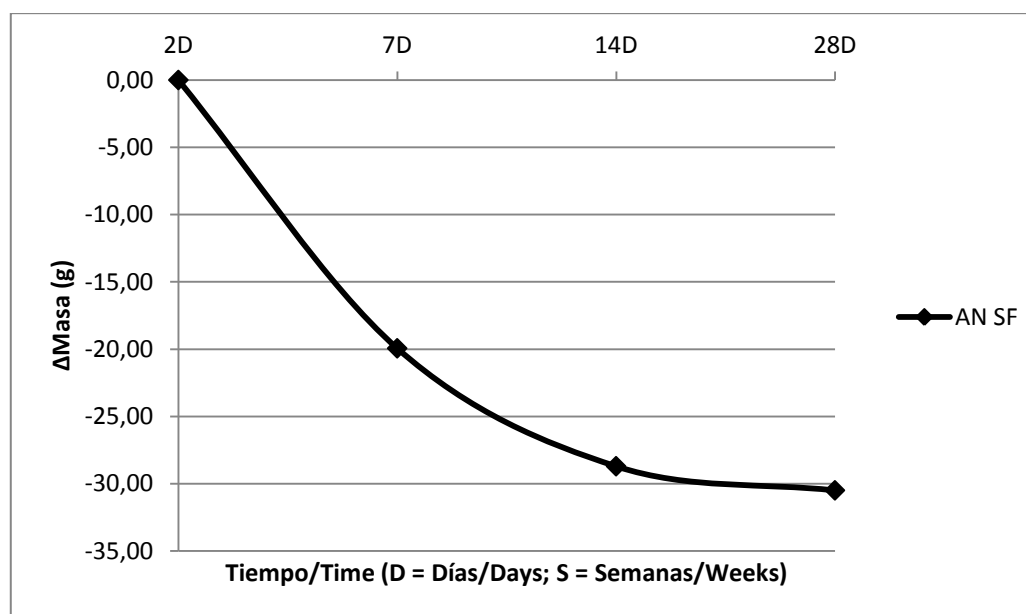


Figura 87 Variación másica mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil

Tabla 40 Dosificación mortero de RCD y filler silíceo. Ensayo retracción

MUESTRA:	RCD SF
Dosificación	Gramos
RCD	3310
FILLER	280
CEMENTO	672
AGUA	690
Consistencia=	175

Tabla 41 Resultados mortero de RCD y filler silíceo

FECHA	EDAD	PESO (gr)			Media (gr)	Desviación estándar	LECTURA (mm)			Media (mm)			Retracción (mm/m)			Retracción (mm/m)	Desviación estándar
		X	Y	Z			X	Y	Z	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz		
13/05/2014	2D	513,25	510,64	512,21	512,03	1,31	-1,634	-1,911	-1,774	- 1,636	- 1,910	- 1,773	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
							-1,636	-1,909	-1,773								
							-1,637	-1,910	-1,771								
				LONGITUD PROBETA			158,364	158,09	158,227								
19/05/2014	7D	477,07	476	476,42	476,48	0,56	-1,694	-1,966	-1,830	- 1,694	- 1,967	- 1,830	- 0,370	- 0,358	- 0,364	-0,364	0,006
							-1,694	-1,967	-1,831								
							-1,695	-1,967	-1,830								
26/05/2014	14D	470,80	468,78	470,06	469,88	1,02	-1,773	-2,051	-1,912	- 1,773	- 2,051	- 1,913	- 0,867	- 0,892	- 0,885	-0,881	0,013
							-1,773	-2,051	-1,913								
							-1,773	-2,051	-1,913								
09/06/2014	28D	470,42	468,34	469,60	469,45	1,05	-1,797	-2,074	-1,935	- 1,797	- 2,075	- 1,935	- 1,021	- 1,046	- 1,024	-1,030	0,014
							-1,798	-2,076	-1,934								
							-1,797	-2,076	-1,935								

Tabla 42 Variación longitudinal mortero de RCD y filler síliceo

Edad (días)	EDAD	Rx	Ry	Rz	RETRACCIÓN
2	2D	0,000	0,000	0,000	0,0000
7	7D	-0,370	-0,358	-0,364	-0,3645
14	14D	-0,867	-0,892	-0,885	-0,8813
28	28D	-1,021	-1,046	-1,024	-1,0302

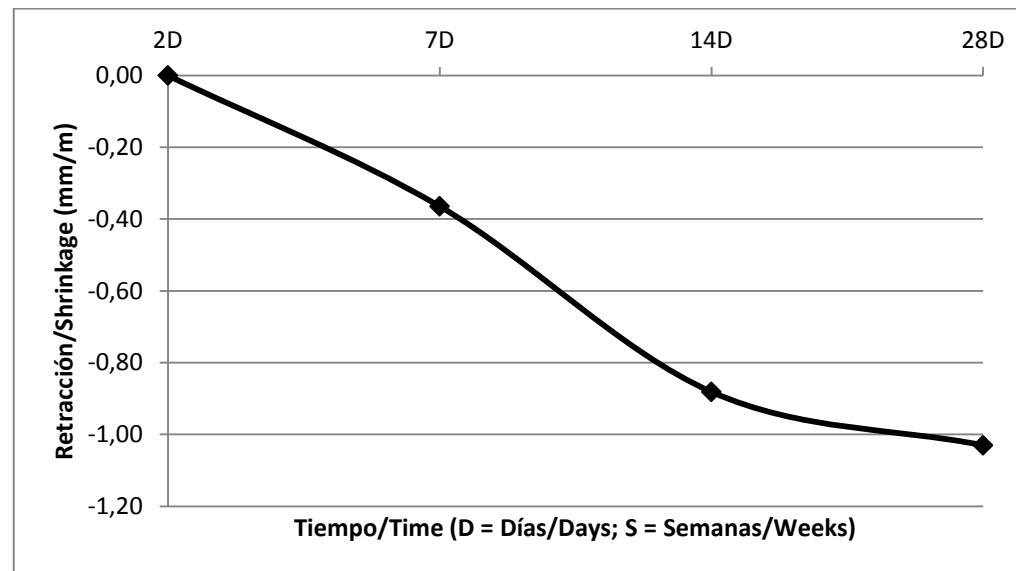


Figura 88 Variación longitudinal mortero de RCD y filler síliceo

Tabla 43 Variación másica mortero de RCD y filler silíceo

Edad (días)	EDAD	Mx	My	Mz	ΔMx	ΔMy	ΔMz	MEDIA	ΔM
2	2D	513,250	510,640	512,210	0,000	0,000	0,000	512,033	0,000
7	7D	477,070	475,96	476,420	-36,180	-34,680	-35,790	476,483	-35,550
14	14D	470,800	468,780	470,060	-42,450	-41,860	-42,150	469,880	-42,153
28	28D	470,420	468,340	469,600	-42,830	-42,300	-42,610	469,453	-42,580

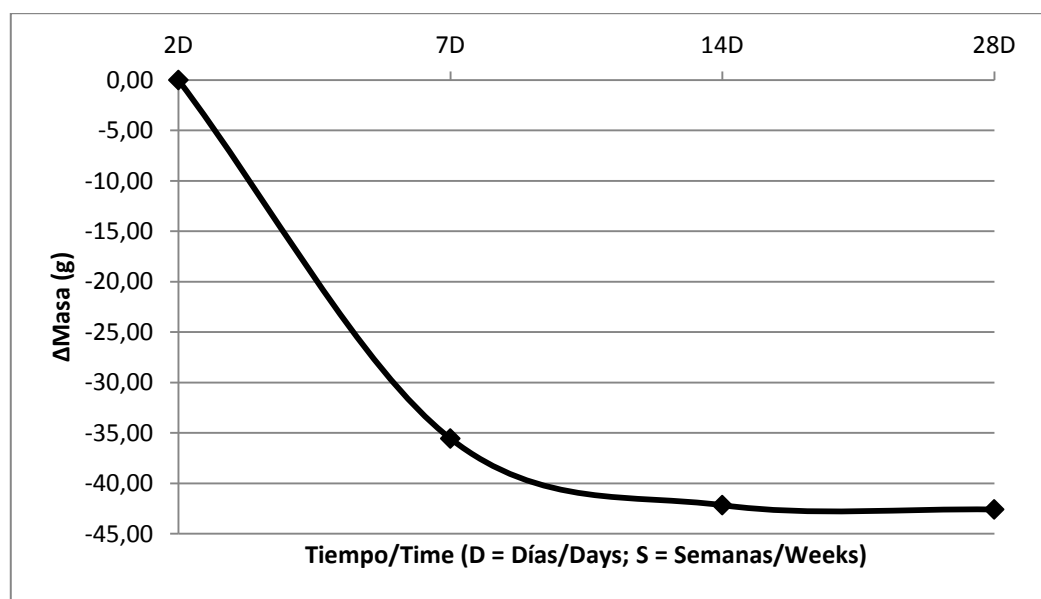


Figura 89 Variación másica mortero de RCD y filler silíceo

Tabla 44 Dosificación mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo retracción

MUESTRA:	RCD CBPG
Dosificación	Gramos
RCD	3310
CBPG	261
CEMENTO	672
AGUA	875
Consistencia=	167

Tabla 45 Resultados mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil

FECHA	EDAD	PESO (gr)			Media (gr)	Desviación estándar	LECTURA (mm)			Media (mm)			Retracción (mm/m)			Retracción (mm/m)	Desviación estándar
		X	Y	Z			X	Y	Z	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz		
13/05/2014	2D	501,32	505,34	503,54	503,40	2,01	-1,916	-1,788	-1,547	-1,916	-1,786	-1,548	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
							-1,916	-1,786	-1,548								
							-1,915	-1,785	-1,549								
				LONGITUD PROBETA			158,084	158,214	158,452								
19/05/2014	7D	471,81	474,31	468,72	471,61	2,80	-1,969	-1,840	-1,616	-1,969	-1,840	-1,616	-0,339	-0,341	-0,431	-0,371	0,052
							-1,969	-1,842	-1,616								
							-1,970	-1,839	-1,617								
26/05/2014	14D	457,68	460,30	457,13	458,37	1,69	-2,125	-2,026	-1,771	-2,125	-2,025	-1,772	-1,324	-1,511	-1,414	-1,416	0,093
							-2,125	-2,025	-1,772								
							-2,125	-2,025	-1,773								
09/06/2014	28D	455,35	458,21	455,64	456,40	1,57	-2,180	-2,079	-1,816	-2,180	-2,079	-1,816	-1,672	-1,848	-1,691	-1,737	0,096
							-2,180	-2,078	-1,816								
							-2,180	-2,079	-1,816								

Tabla 46 Variación longitudinal mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil

Edad (días)	EDAD	Rx	Ry	Rz	RETRACCIÓN
2	2D	0,000	0,000	0,000	0,0000
7	7D	-0,339	-0,341	-0,431	-0,3707
14	14D	-1,324	-1,511	-1,414	-1,4162
28	28D	-1,672	-1,848	-1,691	-1,7371

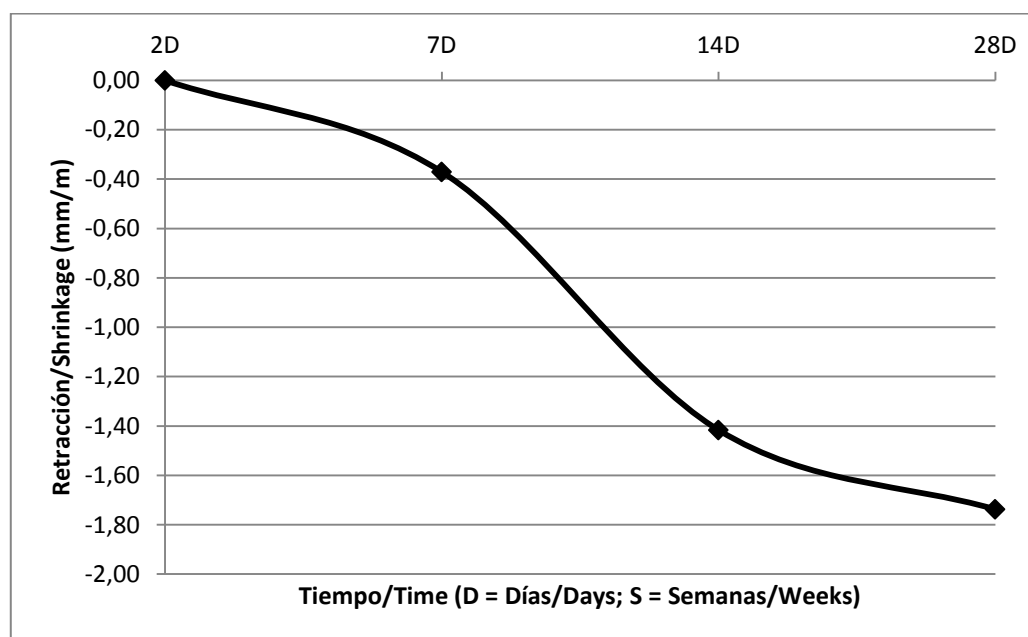


Figura 90 Variación longitudinal mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil

Tabla 47 Variación másica mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil

Edad (días)	EDAD	Mx	My	Mz	ΔMx	ΔMy	ΔMz	MEDIA	ΔM
2	2D	501,320	505,340	503,540	0,000	0,000	0,000	503,400	0,000
7	7D	471,810	474,31	468,720	-29,510	-31,030	-34,820	471,613	-31,787
14	14D	457,680	460,300	457,130	-43,640	-45,040	-46,410	458,370	-45,030
28	28D	455,350	458,210	455,640	-45,970	-47,130	-47,900	456,400	-47,000

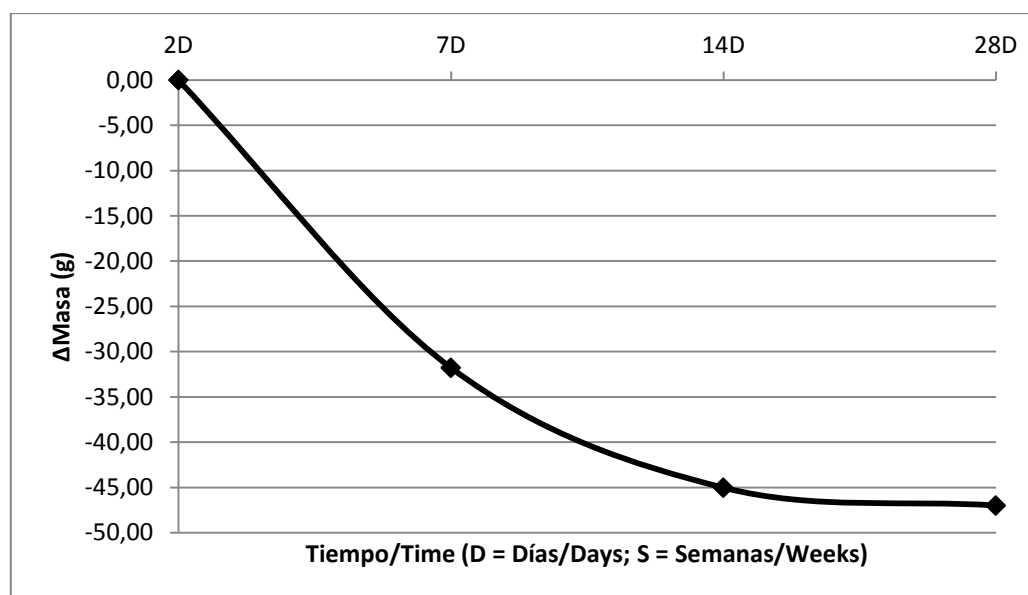


Figura 91 Variación másica mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil

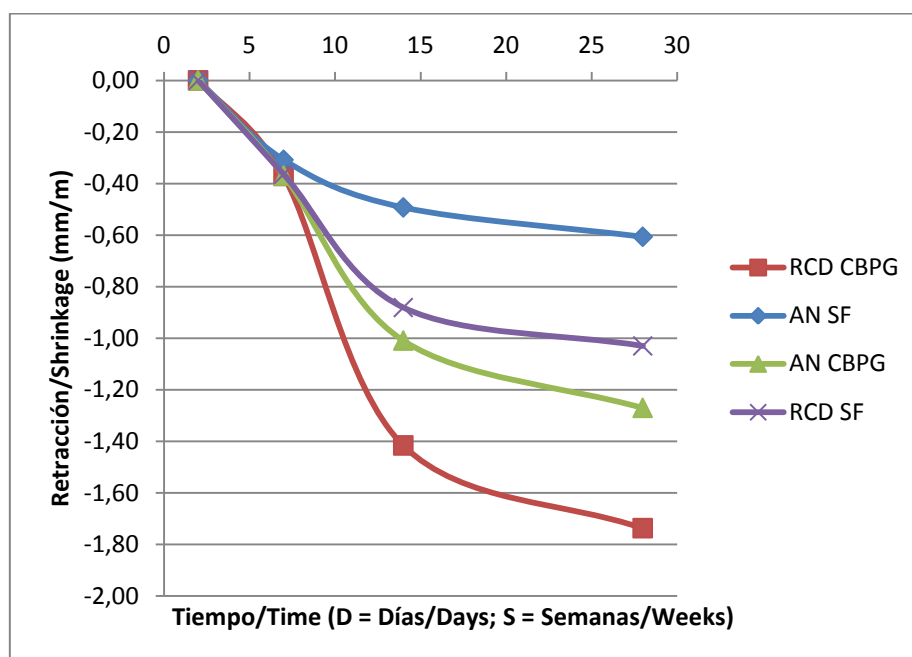


Figura 92 Comparación retracción de los morteros

Las probetas elaboradas con ceniza volante de biomasa de Puente Genil experimentan mayor retracción que aquellas elaboradas con filler siliceo; especialmente las elaboradas con RCD.

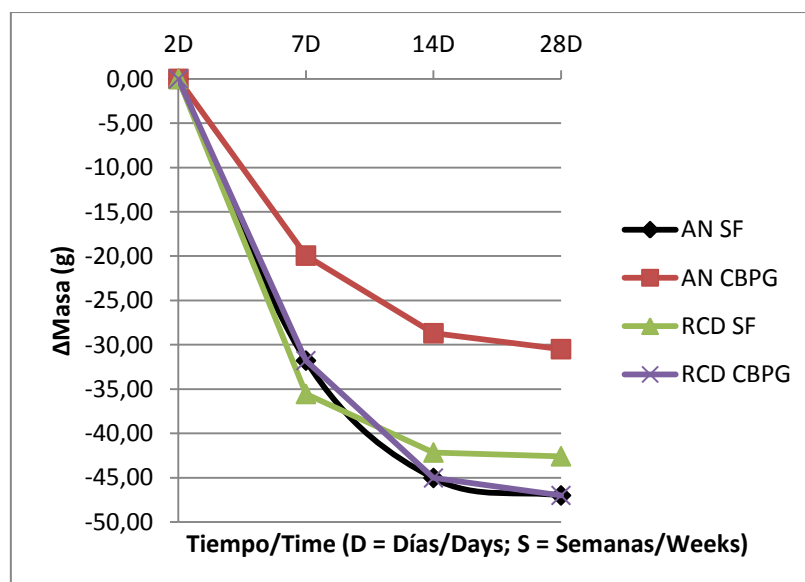


Figura 93 Comparación variación másica de los morteros

Todas las probetas presentan una variación másica similar, excepto la de arena natural y ceniza, cuya variación másica es menor.

Adherencia a de morteros elaborados con RCD y cenizas volantes de biomasa

Tabla 48 Dosificación mortero de arena natural y filler silíceo. Ensayo adherencia

MUESTRA:	AN SF
Dosificación	Gramos
AN	3399
FILLER	280
CEMENTO	672
AGUA	550
Consistencia=	174,00

Tabla 49 Resultados mortero de arena natural y filler silíceo. Ensayo adherencia

	cm ²	mm ²	
Área	19,63	1963,50	
Repeticiones	Fu (Kgf)	Fu (N)	fu (N/mm ²)
A-1	14,00	137,34	0,07
A-2	12,00	117,72	0,06
A-3	18,00	176,58	0,09
A-4	12,00	117,72	0,06
A-5	15,00	147,15	0,07
Media			0,07
SD			0,01

Tabla 50 Dosificación mortero de arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo adherencia

MUESTRA:	AN CBPG
Dosificación	Gramos
AN	3399
CBPG	261
CEMENTO	672
AGUA	716
Consistencia=	182

Tabla 51 Resultados mortero de arena natural y cenizas de biomasa
Puente Genil. Ensayo adherencia

	cm ²	mm ²	
Área	19,63	1963,50	
Repeticiones	Fu (Kgf)	Fu (N)	fu (N/mm ²)
B-1	10,00	98,10	0,05
B-2	10,00	98,10	0,05
B-3	12,00	117,72	0,06
B-4	8,00	78,48	0,04
B-5	8,00	78,48	0,04
Media			0,05
SD			0,01

Tabla 52 Dosificación mortero de RCD y filler silíceo. Ensayo
adherencia

MUESTRA:	RCD SF
Dosificación	Gramos
RCD	3310
FILLER	280
CEMENTO	672
AGUA	690
Consistencia=	175

Tabla 53 Resultados mortero de RCD y filler silíceo. Ensayo adherencia

	cm ²	mm ²	
Área	19,63	1963,50	
Repeticiones	Fu (Kgf)	Fu (N)	fu (N/mm ²)
C-1	14,00	137,34	0,07
C-2	10,00	98,10	0,05
C-3	10,00	98,10	0,05
C-4	10,00	98,10	0,05
C-5	12,00	117,72	0,06
Media			0,06
SD			0,01

Tabla 54 Dosificación mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo adherencia

MUESTRA:	RCD CBPG
Dosificación	Gramos
RCD	3310
CBPG	261
CEMENTO	672
AGUA	875
Consistencia=	167

Tabla 55 Resultados mortero de RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Ensayo adherencia

	cm ²	mm ²	
Área	19,63	1963,50	
Repeticiones	Fu (Kgf)	Fu (N)	fu (N/mm ²)
D-1	16,00	156,96	0,08
D-2	20,00	196,20	0,10
D-3	18,00	176,58	0,09
D-4	22,00	215,82	0,11
D-5	12,00	117,72	0,06
Media			0,09
SD			0,02

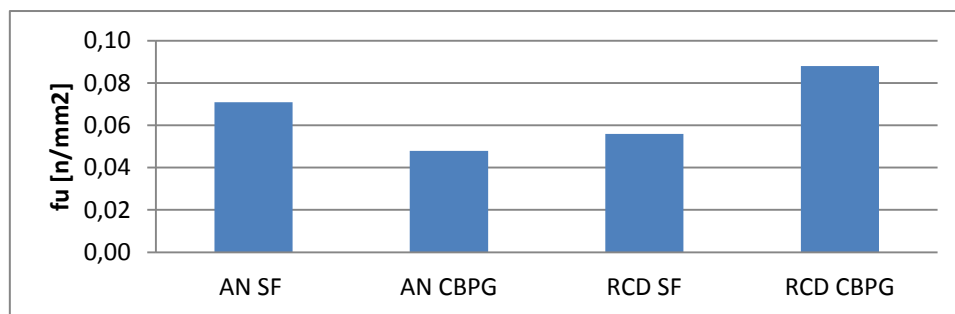


Figura 94 Comparación adherencia de los morteros

La combinación de RCD y cenizas volantes de biomasa de Puente Genil presenta la mayor adherencia. Mientras que la menor, la mezcla de arena natural y cenizas. Sin embargo, los resultados en todos los casos han sido considerablemente bajos. Posiblemente el método escogido para la realización del ensayo no fue el más adecuado.

Permeabilidad de morteros elaborados con RCD y cenizas volantes de biomasa

Tabla 56. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo. Repetición 1

Espesor (mm)	18,65	18,14	Espesor Medio (m)	0,0183
	18,12	18,13		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 10:56	0:00:00	0,00	0,00	1088,03
11-6-14 14:45	3:49:00	3,82	3,82	1087,96
11-6-14 18:42	3:57:00	3,95	7,77	1087,90
12-6-14 8:25	13:43:00	13,72	21,48	1087,71
12-6-14 13:04	4:39:00	4,65	26,13	1087,75
12-6-14 19:09	6:05:00	6,08	32,22	1087,65
13-6-14 9:05	13:56:00	13,93	46,15	1087,43
13-6-14 15:32	6:27:00	6,45	52,60	1087,34
13-6-14 19:15	3:43:00	3,72	56,32	1087,31
14-6-14 10:01	14:46:00	14,77	71,08	1087,05
14-6-14 14:42	4:41:00	4,68	75,77	1086,98
14-6-14 20:32	5:50:00	5,83	81,60	1086,91
15-6-14 10:27	13:55:00	13,92	95,52	1086,70
15-6-14 14:57	4:30:00	4,50	100,02	1086,63
15-6-14 20:54	5:57:00	5,95	105,97	1086,54

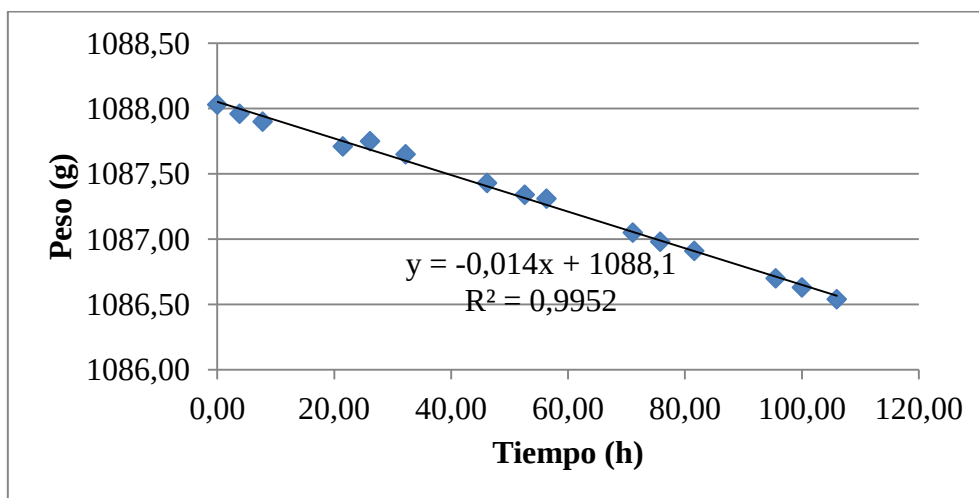


Figura 95. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 1

Tabla 57 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 1

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,014
λ (Kg/m ² s Pa)	2,0157E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	3,6806E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	52,71

Tabla 58. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo. Repetición 2

Espesor (mm)	18,35	17,97	Espesor Medio (m)	0,0183
	17,88	18,91		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 10:57	0:00:00	0,00	0,00	1128,93
11-6-14 14:47	3:50:00	3,83	3,83	1128,91
11-6-14 18:43	3:56:00	3,93	7,77	1128,80
12-6-14 8:25	13:42:00	13,70	21,47	1128,61
12-6-14 13:04	4:39:00	4,65	26,12	1128,62
12-6-14 19:08	6:04:00	6,07	32,18	1128,48
13-6-14 9:06	13:58:00	13,97	46,15	1128,20
13-6-14 15:33	6:27:00	6,45	52,60	1128,15
13-6-14 19:16	3:43:00	3,72	56,32	1128,12
14-6-14 10:02	14:46:00	14,77	71,08	1127,84
14-6-14 14:43	4:41:00	4,68	75,77	1127,76
14-6-14 20:33	5:50:00	5,83	81,60	1127,72
15-6-14 10:28	13:55:00	13,92	95,52	1127,48
15-6-14 14:58	4:30:00	4,50	100,02	1127,41
15-6-14 21:01	6:03:00	6,05	106,07	1127,29

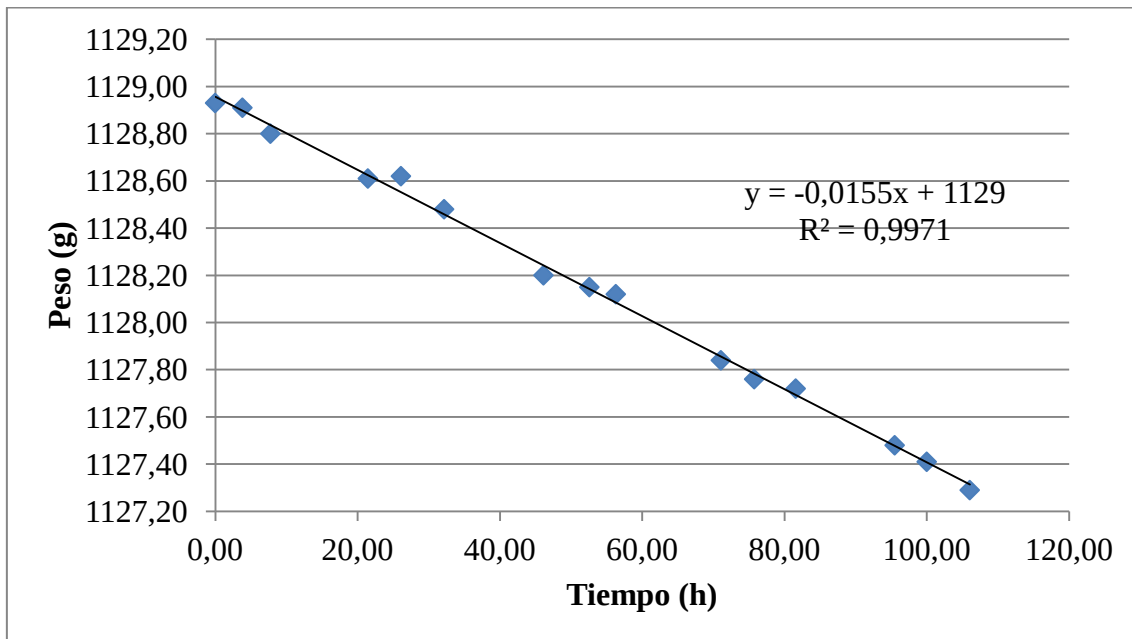


Figura 96. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 2

Tabla 59 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y filler siliceo. Repetición 2

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,0155
λ (Kg/m ² s Pa)	2,2339E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	4,0831E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	47,51

Tabla 60. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 3

Espesor (mm)	18,98	18,69	Espesor Medio (m)	0,0187
	18,52	18,56		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 10:58	0:00:00	0,00	0,00	1136,87
11-6-14 14:52	3:54:00	3,90	3,90	1136,85
11-6-14 18:43	3:51:00	3,85	7,75	1136,75
12-6-14 8:25	13:42:00	13,70	21,45	1136,58
12-6-14 13:04	4:39:00	4,65	26,10	1136,60
12-6-14 19:07	6:03:00	6,05	32,15	1136,50
13-6-14 9:07	14:00:00	14,00	46,15	1136,32
13-6-14 15:34	6:27:00	6,45	52,60	1136,24
13-6-14 19:17	3:43:00	3,72	56,32	1136,21
14-6-14 10:03	14:46:00	14,77	71,08	1135,96
14-6-14 14:44	4:41:00	4,68	75,77	1135,90
14-6-14 20:34	5:50:00	5,83	81,60	1135,83
15-6-14 10:29	13:55:00	13,92	95,52	1135,61
15-6-14 14:59	4:30:00	4,50	100,02	1135,55
15-6-14 21:02	6:03:00	6,05	106,07	1135,43

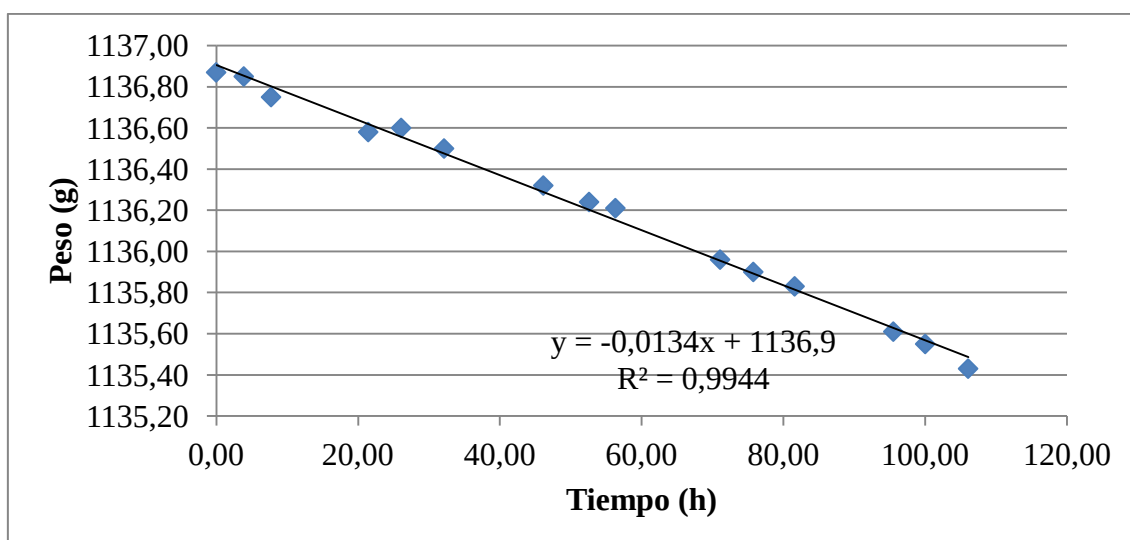


Figura 97. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler síliceo. Repetición 3

Tabla 61 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo. Repetición 3

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R_A (Pa m ² s/Kg)	48000000
$\Delta G/\Delta t$ (g/h)	0,0134
λ (Kg/m ² s Pa)	1,9285E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	3,6038E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	53,83

Tabla 62. Resultados permeabilidad morteros arena natural y filler silíceo.

λ media (Kg/m ² s Pa)	Espesor medio (m)	Permeabilidad media (Kg m/m ² s Pa)
2,06E-10	0,0184	3,79E-12

Tabla 63. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 1

Espesor (mm)	18,56	18,53	Espesor Medio (m)	0,0183
	18,13	17,89		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:02	0:00:00	0,00	0,00	1095,69
11-6-14 15:01	3:59:00	3,98	3,98	1095,60
11-6-14 18:42	3:41:00	3,68	7,67	1095,54
12-6-14 8:31	13:49:00	13,82	21,48	1095,45
12-6-14 13:09	4:38:00	4,63	26,12	1095,46
12-6-14 19:03	5:54:00	5,90	32,02	1095,37
13-6-14 9:12	14:09:00	14,15	46,17	1095,10
13-6-14 15:40	6:28:00	6,47	52,63	1095,02
13-6-14 19:21	3:41:00	3,68	56,32	1094,94
14-6-14 10:06	14:45:00	14,75	71,07	1094,61
14-6-14 14:48	4:42:00	4,70	75,77	1094,52
14-6-14 20:37	5:49:00	5,82	81,58	1094,46
15-6-14 10:34	13:57:00	13,95	95,53	1094,12
15-6-14 15:02	4:28:00	4,47	100,00	1094,02
15-6-14 21:05	6:03:00	6,05	106,05	1093,87

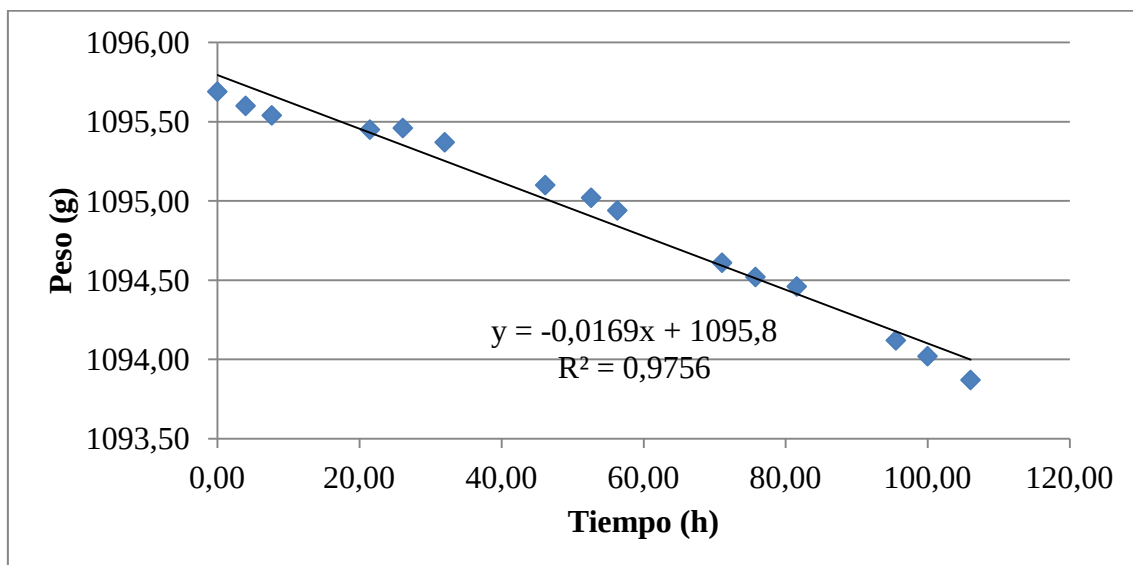


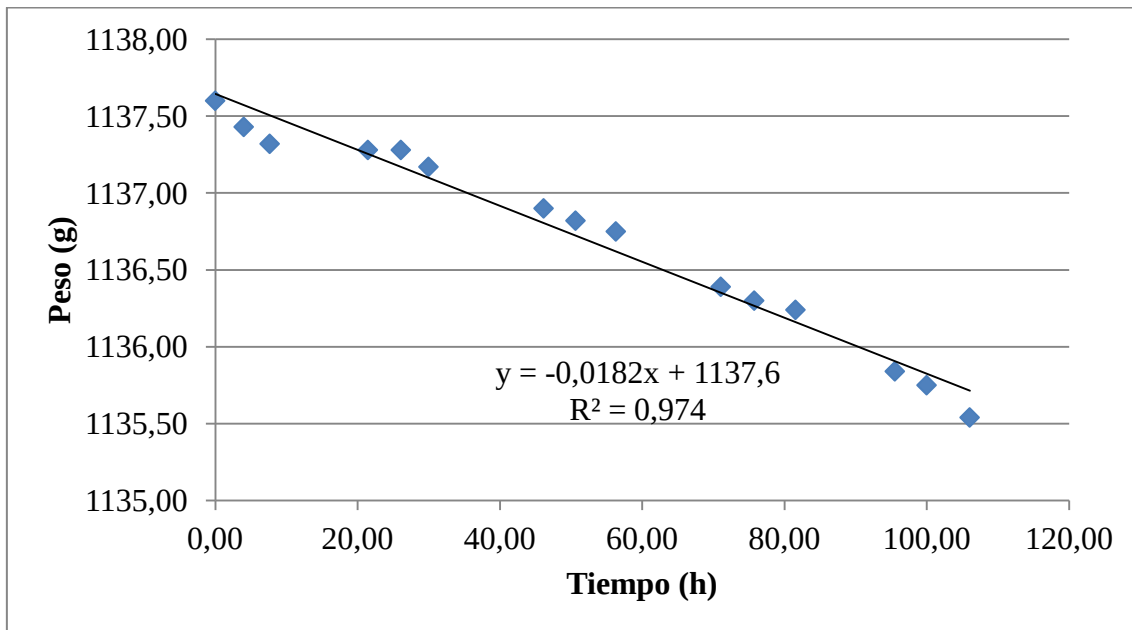
Figura 98. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 1

Tabla 64 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 1

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R_A (Pa m ² s/Kg)	48000000
$\Delta G/\Delta t$ (g/h)	0,0169
λ (Kg/m ² s Pa)	2,4381E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	4,4562E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	43,53

Tabla 65. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 2

Espesor (mm)	18,86	18,74	Espesor Medio (m)	0,0186
	18,34	18,5		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:03	0:00:00	0,00	0,00	1137,60
11-6-14 15:04	4:01:00	4,02	4,02	1137,43
11-6-14 18:43	3:39:00	3,65	7,67	1137,32
12-6-14 8:31	13:48:00	13,80	21,47	1137,28
12-6-14 13:09	4:38:00	4,63	26,10	1137,28
12-6-14 17:02	3:53:00	3,88	29,98	1137,17
13-6-14 9:13	16:11:00	16,18	46,17	1136,9
13-6-14 13:42	4:29:00	4,48	50,65	1136,82
13-6-14 19:22	5:40:00	5,67	56,32	1136,75
14-6-14 10:07	14:45:00	14,75	71,07	1136,39
14-6-14 14:49	4:42:00	4,70	75,77	1136,30
14-6-14 20:37	5:48:00	5,80	81,57	1136,24
15-6-14 10:35	13:58:00	13,97	95,53	1135,84
15-6-14 15:03	4:28:00	4,47	100,00	1135,75
15-6-14 21:06	6:03:00	6,05	106,05	1135,54



**Figura 99. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil .
Repetición 2**

Tabla 66 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 2

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,0182
λ (Kg/m ² s Pa)	2,628E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	4,8907E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	39,67

Tabla 67. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 3

Espesor (mm)	18,16	18,33	Espesor Medio (m)	0,0182
	18,15	18,17		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:04	0:00:00	0,00	0,00	1094,95
11-6-14 15:08	4:04:00	4,07	4,07	1094,80
11-6-14 18:43	3:35:00	3,58	7,65	1094,71
12-6-14 8:31	13:48:00	13,80	21,45	1094,64
12-6-14 13:09	4:38:00	4,63	26,08	1094,67
12-6-14 19:01	5:52:00	5,87	31,95	1094,54
13-6-14 9:14	14:13:00	14,22	46,17	1094,24
13-6-14 13:42	4:28:00	4,47	50,63	1094,16
13-6-14 19:23	5:41:00	5,68	56,32	1094,07
14-6-14 10:08	14:45:00	14,75	71,07	1093,68
14-6-14 14:49	4:41:00	4,68	75,75	1093,58
14-6-14 20:38	5:49:00	5,82	81,57	1093,52
15-6-14 10:36	13:58:00	13,97	95,53	1093,13
15-6-14 15:04	4:28:00	4,47	100,00	1093,06
15-6-14 21:08	6:04:00	6,07	106,07	1092,90

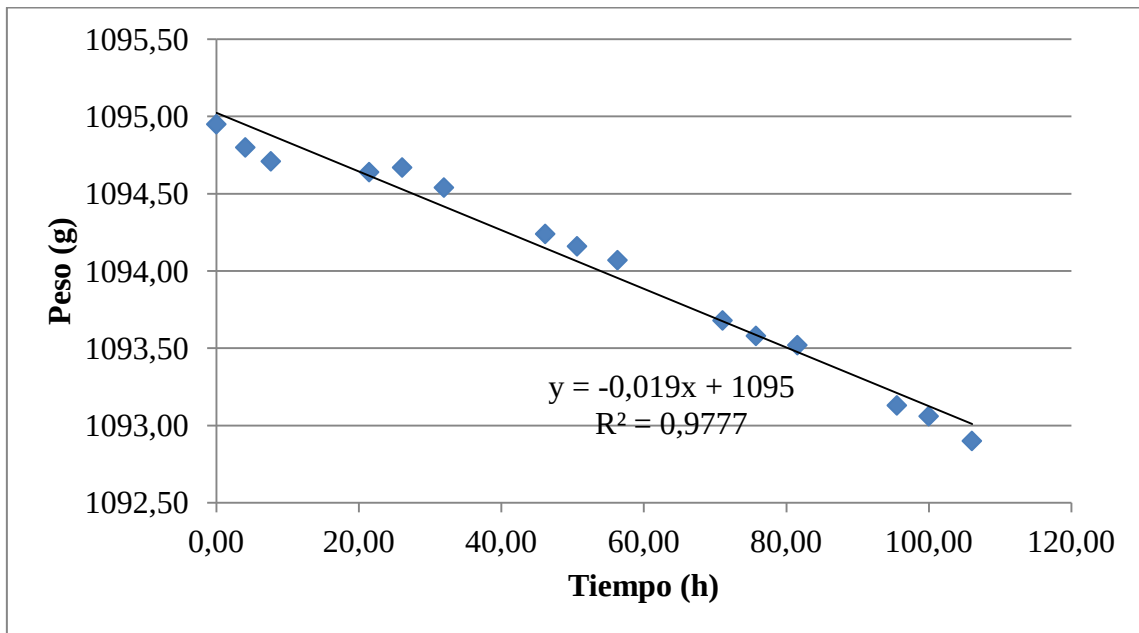


Figura 100. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 3

Tabla 68 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 3

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,019
λ (Kg/m ² s Pa)	2,745E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	4,9966E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	38,83

Tabla 69. Resultados permeabilidad morteros arena natural y cenizas de biomasa Puente Genil.

λ media (Kg/m ² s Pa)	Espesor medio (m)	Permeabilidad media (Kg m/m ² s Pa)
2,60E-10	0,0184	4,78E-12

Tabla 70. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler silíceo. Repetición 1

Espesor (mm)	18,2	18,6	Espesor Medio (m)	0,0187
	19,42	18,62		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:05	0:00:00	0,00	0,00	1078,73
11-6-14 15:10	4:05:00	4,08	4,08	1078,70
11-6-14 18:42	3:32:00	3,53	7,62	1078,64
12-6-14 8:34	13:52:00	13,87	21,48	1078,35
12-6-14 13:11	4:37:00	4,62	26,10	1078,33
12-6-14 19:17	6:06:00	6,10	32,20	1078,16
13-6-14 9:15	13:58:00	13,97	46,17	1077,89
13-6-14 15:47	6:32:00	6,53	52,70	1077,77
13-6-14 19:24	3:37:00	3,62	56,32	1077,66
14-6-14 10:09	14:45:00	14,75	71,07	1077,24
14-6-14 14:51	4:42:00	4,70	75,77	1077,13
14-6-14 20:39	5:48:00	5,80	81,57	1077,04
15-6-14 10:37	13:58:00	13,97	95,53	1076,60
15-6-14 15:05	4:28:00	4,47	100,00	1076,45
15-6-14 21:08	6:03:00	6,05	106,05	1076,25

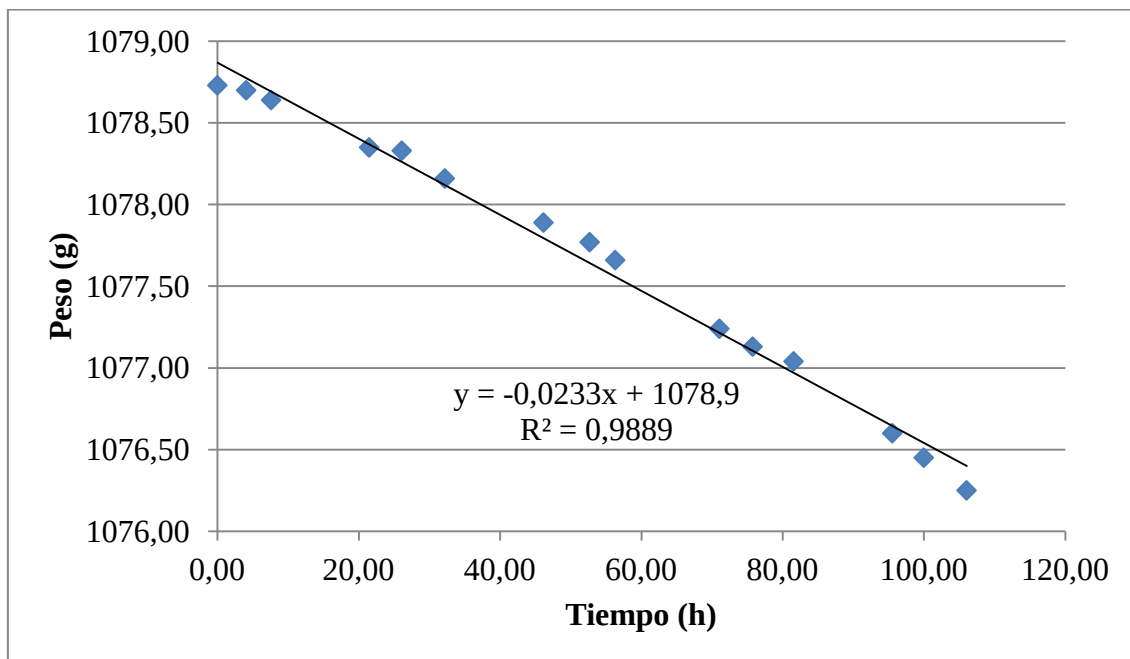


Figura 101. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler síliceo . Repetición 1

Tabla 71 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y filler síliceo. Repetición 1

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,0233
λ (Kg/m ² s Pa)	3,3763E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	6,3171E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	30,71

Tabla 72. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler silíceo .
Repetición 2

Espesor (mm)	18,74	19,91	Espesor Medio (m)	0,0193
	19,49	19,13		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:13	0:00:00	0,00	0,00	1085,17
11-6-14 15:13	4:00:00	4,00	4,00	1085,14
11-6-14 18:43	3:30:00	3,50	7,50	1085,08
12-6-14 8:34	13:51:00	13,85	21,35	1084,77
12-6-14 13:11	4:37:00	4,62	25,97	1084,74
12-6-14 19:16	6:05:00	6,08	32,05	1084,58
13-6-14 9:17	14:01:00	14,02	46,07	1084,29
13-6-14 15:48	6:31:00	6,52	52,58	1084,19
13-6-14 19:25	3:37:00	3,62	56,20	1084,07
14-6-14 10:10	14:45:00	14,75	70,95	1083,64
14-6-14 14:51	4:41:00	4,68	75,63	1083,54
14-6-14 20:39	5:48:00	5,80	81,43	1083,45
15-6-14 10:38	13:59:00	13,98	95,42	1083,07
15-6-14 15:06	4:28:00	4,47	99,88	1082,94
15-6-14 21:09	6:03:00	6,05	105,93	1082,76

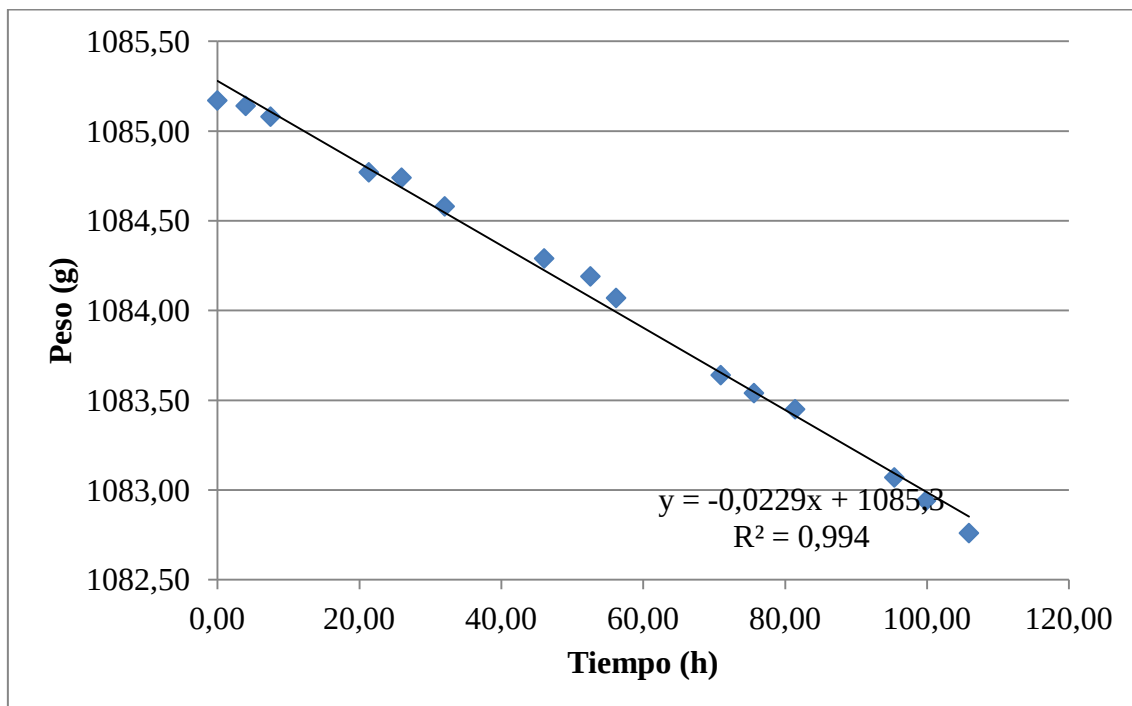


Figura 102. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler síliceo . Repetición 2

Tabla 73 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y filler síliceo. Repetición 2

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,0229
λ (Kg/m ² s Pa)	3,3175E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	6,4085E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	30,27

Tabla 74. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler silíceo.
Repetición 3

Espesor (mm)	17,99	18,22	Espesor Medio (m)	0,0179
	18,33	17,12		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:14	0:00:00	0,00	0,00	1032,00
11-6-14 15:15	4:01:00	4,02	4,02	1031,92
11-6-14 18:43	3:28:00	3,47	7,48	1031,87
12-6-14 8:34	13:51:00	13,85	21,33	1031,65
12-6-14 13:11	4:37:00	4,62	25,95	1031,61
12-6-14 19:15	6:04:00	6,07	32,02	1031,56
13-6-14 9:18	14:03:00	14,05	46,07	1031,22
13-6-14 13:49	4:31:00	4,52	50,58	1031,14
13-6-14 19:26	5:37:00	5,62	56,20	1031,03
14-6-14 10:11	14:45:00	14,75	70,95	1030,65
14-6-14 14:52	4:41:00	4,68	75,63	1030,55
14-6-14 20:40	5:48:00	5,80	81,43	1030,46
15-6-14 10:39	13:59:00	13,98	95,42	1030,09
15-6-14 15:07	4:28:00	4,47	99,88	1029,99
15-6-14 21:10	6:03:00	6,05	105,93	1029,82

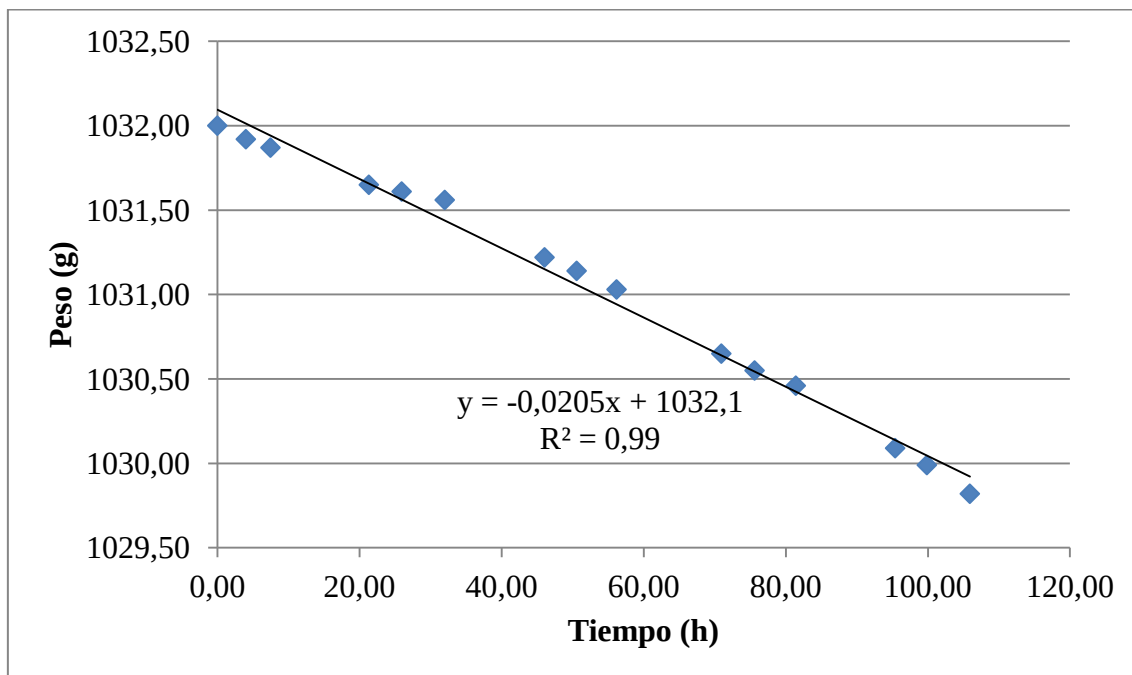


Figura 103. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler síliceo . Repetición 3

Tabla 75 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y filler síliceo. Repetición 3

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,0205
λ (Kg/m ² s Pa)	2,9648E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	5,3115E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	36,52

Tabla 76. Resultados permeabilidad morteros RCD y filler silíceo

λ media (Kg/m ² s Pa)	Espesor medio (m)	Permeabilidad media (Kg m/m ² s Pa)
3,22E-10	0,0186	6,01E-12

Tabla 77. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 1

Espesor (mm)	18,46	18,39	Espesor Medio (m)	0,0187
	18,75	19		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:18	0:00:00	0,00	0,00	1047,95
11-6-14 15:20	4:02:00	4,03	4,03	1047,72
11-6-14 18:42	3:22:00	3,37	7,40	1047,61
12-6-14 8:40	13:58:00	13,97	21,37	1047,56
12-6-14 13:16	4:36:00	4,60	25,97	1047,55
12-6-14 19:18	6:02:00	6,03	32,00	1047,34
13-6-14 9:21	14:03:00	14,05	46,05	1046,94
13-6-14 13:54	4:33:00	4,55	50,60	1046,81
13-6-14 19:30	5:36:00	5,60	56,20	1046,66
14-6-14 10:15	14:45:00	14,75	70,95	1046,13
14-6-14 14:56	4:41:00	4,68	75,63	1045,98
14-6-14 20:43	5:47:00	5,78	81,42	1045,85
15-6-14 10:56	14:13:00	14,22	95,63	1045,10
15-6-14 15:12	4:16:00	4,27	99,90	1044,82
15-6-14 21:13	6:01:00	6,02	105,92	1044,47

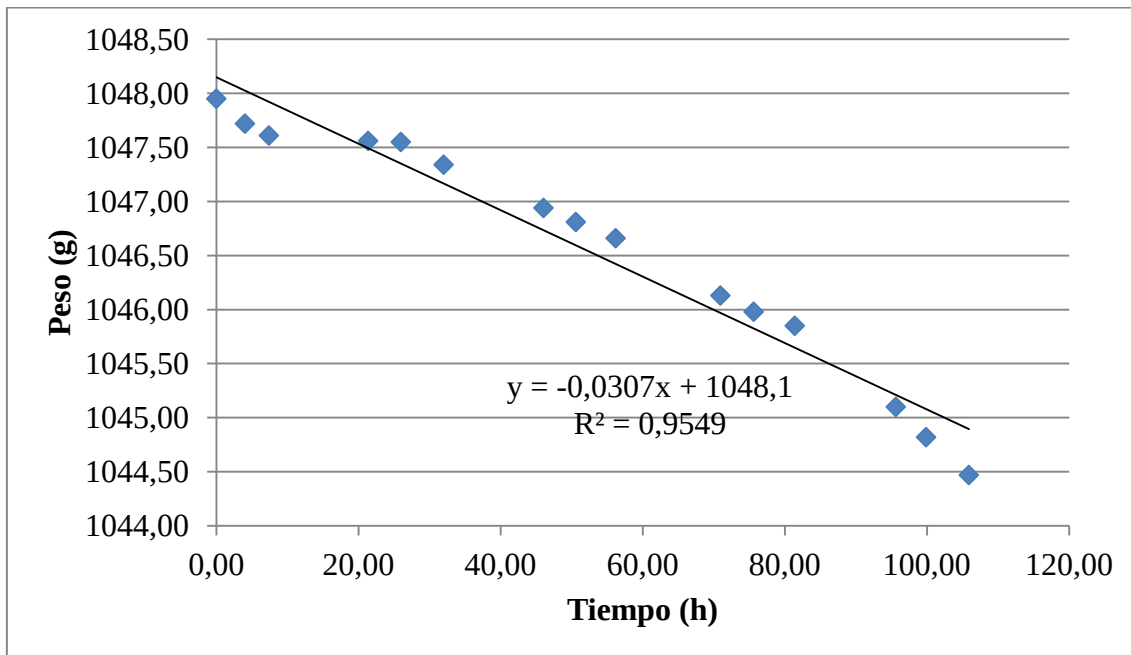


Figura 104. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 1

Tabla 78 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y ceniza de biomasa Puente Genil. Repetición 1

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,0307
λ (Kg/m ² s Pa)	4,4717E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	8,3397E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	23,26

Tabla 79. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 2

Espesor (mm)	18,84	19,1	Espesor Medio (m)	0,0190
	18,92	19,07		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:20	0:00:00	0,00	0,00	1061,45
11-6-14 15:23	4:03:00	4,05	4,05	1061,22
11-6-14 18:43	3:20:00	3,33	7,38	1061,07
12-6-14 8:40	13:57:00	13,95	21,33	1060,99
12-6-14 13:16	4:36:00	4,60	25,93	1060,97
12-6-14 19:19	6:03:00	6,05	31,98	1060,74
13-6-14 9:22	14:03:00	14,05	46,03	1060,34
13-6-14 13:53	4:31:00	4,52	50,55	1060,20
13-6-14 19:31	5:38:00	5,63	56,18	1060,04
14-6-14 10:15	14:44:00	14,73	70,92	1059,47
14-6-14 14:57	4:42:00	4,70	75,62	1059,32
14-6-14 20:44	5:47:00	5,78	81,40	1059,19
15-6-14 10:43	13:59:00	13,98	95,38	1058,67
15-6-14 15:13	4:30:00	4,50	99,88	1058,51
15-6-14 21:14	6:01:00	6,02	105,90	1058,32

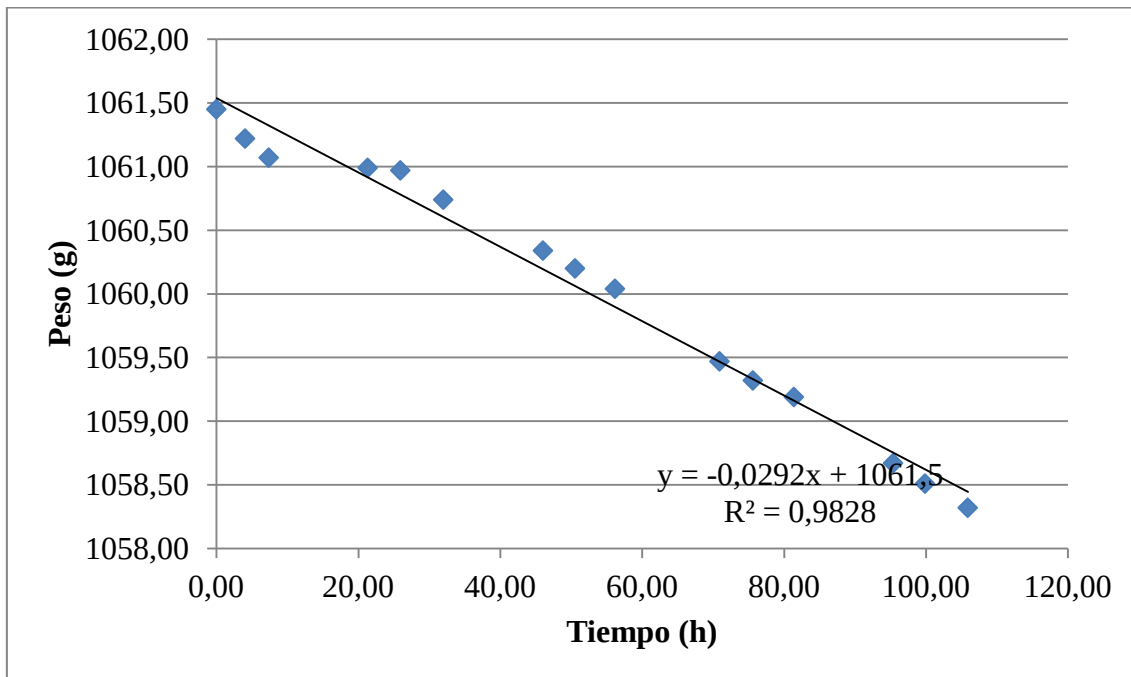


Figura 105. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 2

Tabla 80 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y ceniza de biomasa Puente Genil. Repetición 2

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,0292
λ (Kg/m ² s Pa)	4,2487E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	8,0652E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	24,05

Tabla 81. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil . Repetición 3

Espesor (mm)	18,37	19,02	Espesor Medio (m)	0,0184
	18,28	18,12		
Fecha-Hora	Tiempo	Tiempo (Hr)	Tiempo acumulado (Hr)	Peso (gr)
11-6-14 11:21	0:00:00	0,00	0,00	986,11
11-6-14 15:24	4:03:00	4,05	4,05	985,98
11-6-14 18:43	3:19:00	3,32	7,37	985,71
12-6-14 8:40	13:57:00	13,95	21,32	985,67
12-6-14 13:16	4:36:00	4,60	25,92	985,65
12-6-14 18:57	5:41:00	5,68	31,60	985,45
13-6-14 9:25	14:28:00	14,47	46,07	985,12
13-6-14 13:55	4:30:00	4,50	50,57	985,00
13-6-14 19:32	5:37:00	5,62	56,18	984,89
14-6-14 10:16	14:44:00	14,73	70,92	984,41
14-6-14 14:58	4:42:00	4,70	75,62	984,28
14-6-14 20:46	5:48:00	5,80	81,42	984,20
15-6-14 10:44	13:58:00	13,97	95,38	983,70
15-6-14 15:13	4:29:00	4,48	99,87	983,55
15-6-14 21:15	6:02:00	6,03	105,90	983,36

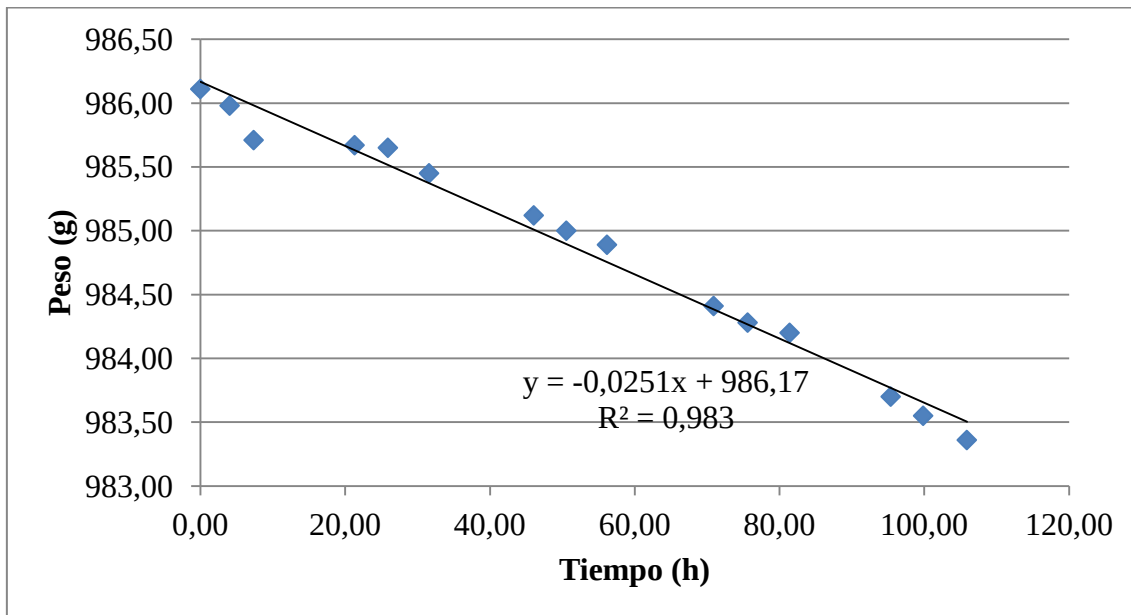


Figura 106. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil. Repetición 3

Tabla 82 Cálculo de coeficiente de permeabilidad morteros RCD y ceniza de biomasa Puente Genil. Repetición 3

ÁREA (m ²)	0,02
Δp (Pa) Nitrato potásico	974
R _A (Pa m ² s/Kg)	48000000
ΔG/Δt (g/h)	0,0251
λ (Kg/m ² s Pa)	3,6417E-10
Permeabilidad (Kg m/m ² s Pa)	6,7181E-12
μ (Coeficiente de permeabilidad)	28,88

Tabla 83. Resultados permeabilidad morteros RCD y cenizas de biomasa Puente Genil .

λ media (Kg/m ² s Pa)	Espesor medio (m)	Permeabilidad media (Kg m/m ² s Pa)
4,12E-10	0,0187	7,71E-12

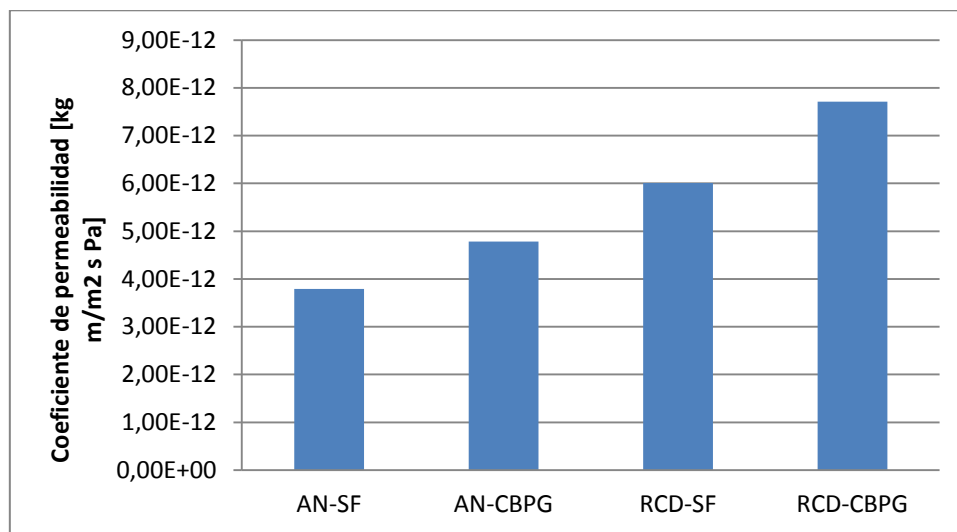


Figura 107 Comparación coeficiente de permeabilidad de los morteros

Los morteros elaborados con RCD no solo son más ligeros, sino también más permeables, en especial si se sustituye el filler silíceo con ceniza volante de biomasa de Puente Genil.

6. CONCLUSIONES

Sustitución del agua potable por agua residual tratada

El tratamiento de aireación prolongada de las aguas residuales en la estación depuradora de Belmez garantiza un efluente que cumple con los límites fijados por la EHE 08 para el agua de amasado.

El uso de agua tratada en la elaboración de morteros representa una ventaja cuando se emplea cemento tipo II. Todas las probetas elaboradas con este tipo de cemento sufrieron una disminución de la resistencia a flexión con respecto a la probeta patrón, en torno a un 10%. En el caso de la resistencia a compresión, la reducción fue mínima, observándose un sutil aumento para una dosificación del 80% del contenido de cemento original (cemento/árido/filler 1:6:0,5).

Observamos un aumento de las resistencias cuando se emplea cemento tipo I y una dosis de cemento del 100%. Aumento del 15% de la resistencia a flexión y del 20% a compresión. Con una dosis del 90% las resistencias permanecen prácticamente inalteradas. Mientras que para la dosis de 80% se observan reducciones del 8% para ambos tipos de resistencias.

A pesar de que los parámetros químicos del agua residual tratada cumplen con los límites establecidos por la EHE 08, el éxito del empleo del agua residual tratada está estrechamente ligado al tipo de cemento y la dosificación de la mezcla de mortero. Obteniendo los mejores resultados para cemento tipo I con una dosis alta.

Valorización de los residuos de demolición y construcción (RCD) y cenizas volantes de biomasa de Puente Genil

La sustitución de la arena natural con RCD conlleva a probetas sobre un 10% más ligeras. Alcanzándose un máximo de 17% cuando se añade además cenizas volantes de biomasa en lugar de filler silíceo. Es decir, el RCD y las cenizas disminuyen el peso de las probetas.

Emplear cenizas de biomasa reduce la resistencia a flexión en un 5%, RCD un 15% y ambos un 17%. El uso del RCD afecta más la resistencia a flexión que el uso de cenizas volantes de biomasa. A los 7 días los porcentajes de reducción son más críticos.

Emplear cenizas de biomasa reduce la resistencia a compresión en un 30%, RCD un 23% y ambos un 47%. El uso de cenizas volantes de biomasa de Puente Genil afecta más la resistencia a compresión que el uso de RCD. A los 7 días los porcentajes de reducción son semejantes.

El desarrollo de resistencia es similar en todos los casos, excepto en el del mortero de RCD con filler silicio, que tiene una cinética más lenta. El uso de cenizas volantes de biomasa de Puente Genil acelera el desarrollo de la resistencia a flexión.

Las probetas elaboradas con ceniza volante de biomasa de Puente Genil experimentan mayor retracción que aquellas elaboradas con filler siliceo; especialmente las elaboradas con RCD.

Todas las probetas presentan una variación másica similar, excepto la de arena natural y ceniza, cuya variación másica es menor.

Los resultados de adherencia en todos los casos han sido considerablemente bajos. Posiblemente el método escogido para la realización del ensayo no fue el más adecuado.

Los morteros elaborados con RCD no solo son más ligeros, sino también más permeables, en especial si se sustituye el filler siliceo con ceniza volante de biomasa de Puente Genil.

7. REFERENCIAS

- 1) Al-Hashmi (2009). Assessing the recycling potential of industrial wastewater to replace fresh water in concrete mixes: application of polyvinyl acetate resin wastewater. University of Baghdad, Iraq. University of Technology, Baghdad, Iraq.
- 2) Chindaprasirt, Jaturapitakkul, Sinsiri. Effect of fly ash fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste. Department of Civil Engineering, Khon Kaen Universit. Department of Civil Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi Thailand.
- 3) Cruz Yusta y otros. Use of Olive Biomass Fly Ash in the Preparation of Environmentally Friendly Mortars. Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cordoba. Grupo PUMA. España.
- 4) EMPROACSA (2005). SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE BELMEZ, ESPIEL, ALCARACEJOS, VILLANUEVA DEL DUQUE Y BELALCÁZAR (CÓRDOBA). E.D.A.R. Belmez.
- 5) ESTUDIO DE MORTEROS CON ÁRIDO RECICLADO DE HORMIGÓN. JAMAICA CASTRO (2011). Escola Tecnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Universitat Politecnica de Catalunya. España.
- 6) Fava, Naik y Moriconi Properties of Cementitious Paste Made with Cement and Ash from Olive Waste.. . Dipartimento SIMAU, Facoltà di Ingegneria, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy UWM Center for By-Product Utilization, University of Milwaukee – Wisconsin, USA.
- 7) Martinez y otros (2012). Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Revista Cubana de Ingeniería, III (2).

- 8) Nawawy (1990). Use of Treated Effluent in Concrete Mixing in an Arid Climate. Ain Shams University, Egypt. Qatar University, Qatar
- 9) Noruzman y otros (2011). Characteristics of treated effluents and their potential applications for producing concret. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia. Faculty of Technology, Bayero University Kano, Nigeria
- 10)Rejini Rajamma (2011) Incorporação de cinzas volantes de biomassa em materiais cimentícios Biomass fly ash incorporation in cement based materials. Universidade de Aveiro.
- 11)Torres Gómez (2013). ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE MORTEROS INDUSTRIALES CON ÁRIDOS RECICLADOS DE RCD Y CENIZAS VOLANTES DE CENTRAL TÉRMICA.. Universidad de Córdoba. España
- 12)Vasquez y otros. Elaboración de concretos con agua tratadas. Universidad Autonoma de México.
- 13)Vegas y otros (2009). Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates. LABEIN-Tecnalia. Morteros y Revocosbikain, S.A. Volbas, S.A. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. España.
- 14)Yepes (2013). COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON AGUA RESIDUAL TRATADA. Universidad Central de Venezuela, Venezuela.