

RCD | APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE DEMOLICIÓN Y CONSTRUCCIÓN PARA SU INCORPORACIÓN EN REVESTIMIENTOS BASADOS EN LA TIERRA PROYECTADA



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Trabajo Fin de Grado

Tutores: Dr. Ignacio Valverde Palacios

Dra. Raquel M^a Fuentes García

Dr. Ignacio Valverde Espinosa

Alumno: Luis Rodríguez del Carpio

Departamento de Construcciones Arquitectónicas

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universidad de Granada

2018/2019



Este documento ha sido impreso en papel reciclado para ser respetuoso con el medio ambiente.

Memoria realizada por el alumno Luis Rodríguez del Carpio como Trabajo Fin de Grado para el Grado de Arquitectura de la Universidad de Granada. Realizada en el 2º semestre del curso 2018/2019. Llevada a cabo bajo la tutela de los Profesores D. Ignacio Valverde Palacios, D^a Raquel M^a Fuentes García y D. Ignacio Valverde Espinosa del Departamento de Construcciones Arquitectónicas.

El alumno,

Los tutores,

Fdo.: Luis Rodríguez del Carpio

Fdo.: Dr. Ignacio Valverde Palacios
Dra. Raquel M^a Fuentes García

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres, gracias por toda la ayuda y todo el apoyo; por apostar por nuestra formación en todo momento y darnos esta oportunidad en la vida.

A mi hermano, gracias por orientarme, escucharme y por todos esos momentos que me has arrastrado a ir a tomar el aire, que tan bien sientan y que nos ayudan a seguir trabajando con las mismas ganas día a día. Me alegra que seamos tan diferentes, porque nos ayuda a aprender uno del otro.

Mi agradecimiento también a mis tutores del TFG. Creo que soy de los pocos alumnos de la UGR que ha contado, por suerte, con tres tutores.

Raquel M^a Fuentes García, gracias por haberme brindado la oportunidad de hacer un TFG de investigación y poder poner en práctica todo lo aprendido. Como consecuencia de esta experiencia he disfrutado de un primer acercamiento en la aplicación de residuos de construcción y demolición en nuevas técnicas constructivas, temática que, sin duda, posee un sentido arquitectónico y constructivo muy sensibilizado con el respeto hacia el medioambiente.

Ignacio Valverde Espinosa, gracias por las innumerables explicaciones, desde las cosas más genéricas hasta las más complejas explicaciones en pizarra, por acompañarnos en todo nuestro proceso de investigación y por todo el conocimiento que has compartido con nosotros.

Ignacio Valverde Palacios, gracias por atenderme siempre que lo he requerido y por compartir muchas horas en el laboratorio hasta acabar hasta arriba de tierra, por orientarme y ayudarme hasta el último momento, gracias. También por transmitirme todos estos conocimientos sobre este material tan valioso, y como dijiste un día: **NO ES MÁS QUE LO QUE SOMOS, TIERRA.**

Emilio José García Rodríguez, gracias por compartir esta experiencia de laboratorio conmigo, por compartir tantas horas realizando ensayos trabajando codo con codo, y estar ahí en todo momento.

A todas las personas que me han escuchado y aconsejado, y en definitiva, acompañado en esta larga y dura carrera, todavía sin acabar.

A todos vosotros, gracias.

ÍNDICE / CONTENIDO

1. RESUMEN/ABSTRACT.....	6
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1. Estado del conocimiento	7
2.1.1. Problemática actual.....	7
2.1.2. Definición de residuo de construcción y demolición (RCD).....	13
2.1.3. Aplicaciones de los RCD.....	16
2.1.4. Economía circular (CE)	22
2.1.5. Modelo de gestión.....	24
2.2. Justificación del estudio	26
3. OBJETIVOS	27
4. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO	28
4.1. Materiales empleados	28
4.1.1. Tierra, suelo edáfico formación Alhambra.....	28
4.1.2. Áridos reciclados provenientes de construcción y demolición	29
4.1.3. Cal hidráulica natural	29
4.1.4. Cemento.....	30
4.2. Campo	31
4.2.1. Toma de muestras de tierra en yacimiento (Formación Alhambra/coluvial de la Formación Alhambra)	31
4.2.1.1. Extracción	32
4.2.1.2. Tratamiento previo	32
4.2.2. Recepción e identificación de los RCDs suministrado por la empresa Inertes Guhilar S.L.	33
4.3. Tipos de mezclas y dosificaciones.....	34
4.4. Laboratorio	36
4.4.1. Físicos.....	37
4.4.2. Envejecimiento	41
4.4.3. Mecánicos.....	42
4.4.4. Proyecciones.....	43
4.4.4.1. Tipo de soporte	43
4.4.4.2. Tipo de maquinaria para la aplicación de las mezclas en el soporte	44
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE ENSAYOS	44
5.1. Ensayos muestra patrón, Tierra.....	44
5.1.1. Distribución Granulométrica (UNE 103 400:1993)	44
5.1.2. Límites de Atterberg, Límite Líquido (UNE 103 103:1994) y Límite Plástico (UNE 103 104:1993).....	46
5.1.3. Clasificación del suelo	46
5.1.4. Ensayo Compactación Proctor Normal (UNE 103 500:1994)	47
5.1.5. Ensayo Resistencia a Compresión Simple (UNE 103 400:1993).....	48
5.2. Ensayos con Áridos Reciclados (AR)	49
5.3. Ensayos Tierra + AR	51
5.4. Ensayos Tierra + AR + Cal + Cemento.....	55
5.5. Ensayos Tierra Proyectada® (Tierra+ AR + Cal + Cemento)	59
6. CONCLUSIONES	63
7. BIBLIOGRAFÍA.....	66
8. ANEXOS	69
8.1. Ensayos.....	70
8.1.1. Ensayos granulométricos.....	70
8.1.2. Ensayos humedad higroscópica	78
8.1.3. Ensayos Límite Líquido y Límite Plástico	80
8.1.4. Ensayos Proctor Normal	84
8.1.5. Ensayos Rotura a Compresión Simple.....	86
8.2. Definiciones	91
8.3. Marco legislativo	96
8.4. Modelo de gestión	98
8.4.1. Fases de un modelo de gestión.....	98
8.4.2. Modelo de trabajo / Formulario.....	101

1. RESUMEN

En el presente trabajo de fin de grado, realizado en el curso 2018/2019, se ha realizado una investigación para incorporar áridos provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) en la técnica constructiva de Tierra Proyectada®, con la finalidad de activar y concienciar de la necesidad del uso de materiales reciclados en las técnicas y procesos constructivos. Bajo el marco actual legal de los RCD se ha seleccionado el material granulométrico más adecuado para esta técnica constructiva. Además, se han llevado a cabo ensayos de caracterización de los materiales, tanto de los RCD como de la tierra. Se ha realizado una muestra patrón que ha sido proyectada sobre un paramento a modo de revestimiento de una edificación. Todo esto realizado con el objetivo del desarrollo de un revestimiento que incorpore materiales ecológicos pudiendo contribuir a futuras investigaciones e iniciativas que apuesten por una arquitectura sostenible.

PALABRAS CLAVE

Construcción / Sostenibilidad / RCD / Reciclado / Reutilización / Tierra / Técnica constructiva / Ensayos / Áridos / Economía circular

ABSTRACT

In the present work of end of degree, made in the course 2018/2019, has carried out a research to incorporate aggregates from construction and demolition waste (RCD) in the construction technique of Tierra Proyectada®, in order to activate and raise awareness of the need to use recycled materials in construction techniques and processes. Under the current legal framework of the RCD has selected the most appropriate granulometric material for this construction technique. In addition, material characterization tests have been carried out, both on the RCD and on the ground. A standard sample has been made that has been projected onto a wall as a covering for a building. All this carried out with the objective of the development of a coating that incorporates ecological materials can contribute to future research and initiatives that bet on a sustainable architecture.

KEY WORDS

Construction / Sustainability / RCD / Recycling / Reuse / Earth / Construction technique / Essays / Aggregates / Circular Economy

2. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo fin de grado mantiene una estructura que responde a un “proyecto de investigación”, fundamentándose en la cualidad de un proceso a través de la ejecución del método científico. Una vez manifestado el planteamiento del problema (cuestión a estudiar) se realiza una recopilación de información (investigación de fondo) para construir una hipótesis, testada a través de una observación, medición, observación, experimentación,..., sistemática, obteniendo finalmente unos resultados que serán objeto de discusión que conducirán a la elaboración de las conclusiones. Esta metodología tiene como finalidades principales la obtención de nuevos conocimientos sobre la aplicación de áridos provenientes de construcción y demolición (en adelante árido reciclado “AR”) en la técnica de Tierra Proyectada®.

En lo que respecta a la elección de la sistemática del TFG, ésta ha sido la apropiada para un tema de investigación, unido a la metodología que se debe seguir para el estudio del comportamiento de materiales, sumado a la disposición de instrumentación precisa para el análisis de las capacidades mecánicas del nuevo material. Los ensayos se han realizado en el laboratorio del Departamento de Construcciones Arquitectónicas, que cuenta con la maquinaria apropiada para llevar a cabo el desarrollo de la investigación.

2.1. Estado del conocimiento

2.1.1. Problemática actual

El sector de la construcción ha crecido de forma exponencial en las últimas décadas y, con él, la producción de residuos generados, estimándose ésta en la actualidad en unos 2 kg por habitante y día, lo que representa una magnitud escalofriante (Plan Nacional de Investigación de Residuos, PNIR).

Tabla 1. Generación de residuos en actividades económicas y domésticas, 2014. (Eurostat. *Generación de residuos por actividades económicas y hogares, 2014* [en línea]. Disponible en: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/es [Consulta: 9 de enero 2019]. ISSN 2443-8219)

	Total		Mining and quarrying	Manufacturing	Energy	Construction and demolition	Other economic activities	Households
	(million tonnes)	(kg per inhabitant)						
EU-28	2.502,9	4.931	28,1	10,2	3,7	34,7	14,9	8,3
Belgium	65,6	5.838	0,1	21,7	2,1	40,2	27,3	8,6
Bulgaria (*)	179,7	24.872	88,6	:	5,1	0,7	4,0	1,5
Czech Republic	23,4	2.223	1,0	18,8	4,3	40,2	21,8	13,9
Denmark	20,1	3.558	0,1	6,4	5,4	52,6	18,5	17,1
Germany	387,5	4.785	1,9	15,8	2,6	53,3	16,9	9,5
Estonia	21,8	16.587	36,3	20,2	32,6	3,1	5,6	2,2
Ireland (*)	15,2	3.285	17,8	:	2,1	12,4	57,6	10,0
Greece	69,8	6.404	67,9	7,0	15,6	0,7	2,3	6,5
Spain	110,5	2.378	16,9	13,4	4,8	18,5	28,3	18,3
France	324,5	4.913	0,7	6,7	0,5	70,2	13,1	8,8
Croatia (*)	3,7	879	0,1	:	3,2	16,6	48,9	31,2
Italy	159,1	2.617	0,6	16,7	2,0	32,5	29,5	18,6
Cyprus (*)	2,1	2.406	:	:	:	31,0	48,9	20,2
Latvia	2,6	1.315	0,2	9,4	27,8	17,3	18,3	27,1
Lithuania	6,2	2.114	0,4	42,1	1,6	7,0	30,1	18,7
Luxembourg	7,1	12.713	1,8	4,0	0,0	84,5	6,1	3,4
Hungary	16,7	1.688	0,5	16,2	13,9	20,7	31,0	17,7
Malta (*)	1,7	3.896	2,2	:	0,2	74,5	13,8	9,3
Netherlands	133,2	7.901	0,1	10,1	1,3	68,1	14,1	6,4
Austria	55,9	6.541	0,1	9,7	0,9	72,1	9,8	7,5
Poland	179,0	4.710	42,3	17,6	12,2	9,5	13,7	4,6
Portugal	14,6	1.402	1,9	17,9	1,2	10,3	36,3	32,3
Romania (*)	175,6	8.820	87,0	:	4,0	0,6	6,2	2,2
Slovenia	4,7	2.273	0,2	28,1	13,5	17,4	28,9	12,0
Slovakia (*)	8,9	1.636	3,2	:	6,1	15,6	55,4	19,6
Finland	96,0	17.572	65,4	10,7	1,5	17,0	3,7	1,7
Sweden	167,0	17.226	83,2	3,4	1,1	5,3	4,5	2,5
United Kingdom	251,0	3.885	10,5	3,2	1,3	48,0	26,0	11,0
Iceland (*)	4,5	1.651	0,0	17,6	0,3	2,1	36,1	44,0
Liechtenstein	0,6	14.919	1,7	2,0	0,1	0,0	0,4	95,9
Norway (*)	11,7	2.283	2,8	:	1,3	23,0	52,7	20,3
Montenegro	1,2	1.872	22,5	5,2	31,7	9,2	15,3	16,1
FYR of Macedonia	2,2	1.058	3,4	67,9	23,3	0,5	4,9	0,0
Serbia	49,1	6.890	84,5	1,8	9,1	0,6	0,7	3,3
Turkey (*)	73,1	947	4,2	:	32,8	:	20,2	42,8
Bosnia and Herzegovina (*)	0,5	1.161	1,6	27,2	71,1	0,0	0,0	0,0
Kosovo (UNSCR 1244)	1,0	574	19,3	7,0	0,0	0,3	26,3	47,0

(*) Other economic activities includes also manufacturing.
 (†) Other economic activities includes also mining, quarrying, manufacturing and energy.
 (‡) 2012.
 (¶) Other economic activities includes also manufacturing, construction and demolition.
 Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

Según los resultados facilitados por Eurostat (Tabla 1) podemos observar que la Unión Europea (UE) generó en 2014 2.502,9 millones de toneladas de residuos, de los cuales 868,5 millones de toneladas corresponden a residuos de construcción y demolición.

Hasta la segunda mitad del siglo XX no ha existido la preocupación de dar salida y crear una sistemática para gestionar los residuos generados por el sector de la construcción, los cuales representan casi el 35% del total de residuos generados en la UE.

No sólo es el volumen que se genera, sino en qué lugares terminan estos residuos. En muchas ocasiones han generado importantes alteraciones del paisaje, e incluso llegan a crear escenarios donde los nuevos protagonistas son las acumulaciones de escombros. Contaminan suelos, acuíferos, mares y océanos, entre otros. Continuar explotando los recursos naturales, en vez de aprovecharlos, causa un efecto negativo sobre el medio, y, por tanto, sobre nosotros mismos.

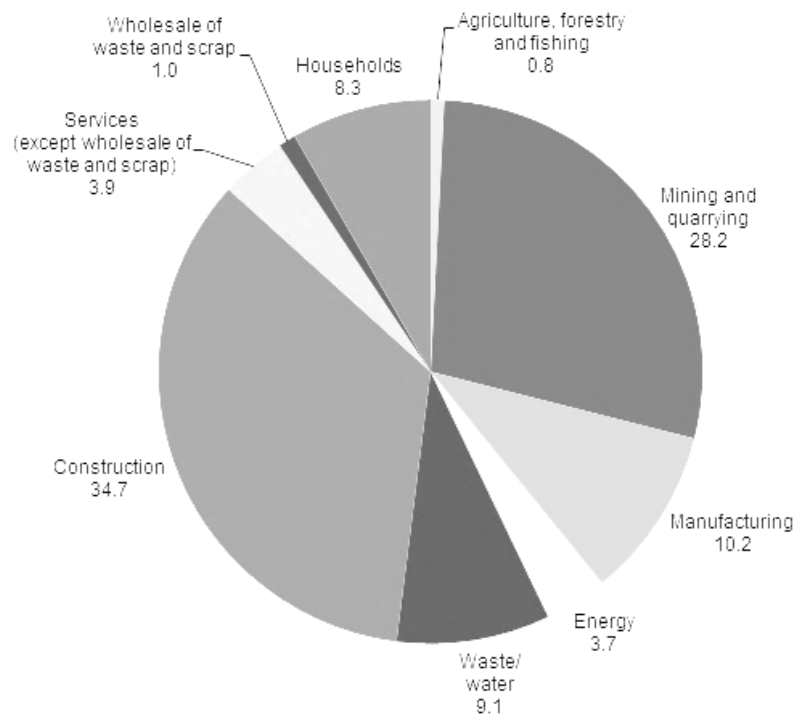


Figura 1. Waste generation by economic activities and households, EU-28, 2014 Eurostat. *Generación de residuos por actividades económicas y hogares, EU-28, 2014(%)* [en línea]. Gráfico 1. Disponible en:https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/es [Consulta: 12 de enero 2019]. ISSN 2443-8219.

Por ello, desde la década de los 80, la importancia de la política de la Unión Europea sobre la protección de medio ambiente y los recursos naturales ha ido aumentando de forma continuada en el tiempo. La elaboración de normativa que obligue a la gestión de los desechos generados durante la ejecución de una construcción, así como que queden plasmados todos los pasos a seguir en la fase de redacción del proyecto, ha sido y sigue siendo prioridad para la Comunidad Europea.

En el caso de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), la nueva normativa establece que, en 2020, al menos el 70% de estos deben ser sometidos a procesos de valorización y reutilización, disminuyéndose el consumo de áridos naturales y el consiguiente impacto ambiental y consumo de energía en su extracción y elaboración (Comisión Europea).

Con la implantación real de la gestión de los RCD, se pretende conseguir:

- La reducción de la producción de residuos
- La reutilización de aquellos residuos o elementos que así lo permitan
- El reciclado de los residuos que no puedan reutilizarse.
- La valorización energética de los residuos que no puedan reciclarse.
- El depósito adecuado en vertedero de todo lo que no pueda valorizarse.
- La mejora de la identificación de residuos, la separación según el origen y la recogida.
- La mejora de la logística de residuos.
- La mejora del procesamiento de residuos.
- La gestión de la calidad.
- Establecer unas condiciones marco y políticas adecuadas.

La generación de nueva normativa, y la correcta ejecución en la práctica, pueden paralizar el deterioro del medio en el que nos vemos inmersos. La importancia de concienciarnos nosotros mismos y concienciar a las nuevas generaciones, junto con los cambios necesarios son las cimientos para conseguir una sostenibilidad global, y centrándonos en nuestro campo, una sostenibilidad en la actividad constructiva.

"Maximizing the net benefits of economic development, subject to maintaining the services and quality of natural resources over time." (Pearce and Turner, 1990)

Traducción: Maximizar los beneficios netos del desarrollo económico, sujeto a la minería de los servicios y la calidad de los recursos naturales a lo largo del tiempo.

"Development that meets the needs of current generations without compromising the ability of future generations to meet their needs and aspirations." (WCED, 1987)

Traducción: Desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades y aspiraciones.

Una correcta gestión de residuos lleva implícita una relación respetuosa con el medio y unos hábitos que nos acerquen a un mundo más habitable.

Podemos apreciar los progresos e iniciativas para tratar los residuos y darles un uso incorporándolos a nuevos procesos. Los datos recogidos en la tabla corresponden a 2.320 millones de toneladas de residuos tratados en 2014 por la UE. Esto incluye el tratamiento de residuos importados en la UE, por lo que las cantidades notificadas no se pueden comparar directamente con las referidas a la generación de residuos.

Casi la mitad (47,4 %) de los residuos tratados en la EU-28 en 2014 fue sometida a operaciones de eliminación distintas de la incineración (vertederos). Un 36,2 % más de los residuos tratados en la EU-28 en 2014 se envió a operaciones de valorización distinta de la valorización energética y el relleno (denominadas «reciclado» a efectos de simplificación). Poco más de una décima parte (10,2 %) de los residuos tratados en la EU-28 se destinaron a operaciones de relleno, mientras que la parte restante se envió a incineración, tanto con valorización energética (4,7 %) como sin ella (1,5 %).

Tabla 2. Eurostat. *Tratamiento de residuos, 2014*. [en línea]: Tabla 3. Disponible en: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/es [Consulta: 12 de enero 2019]. ISSN 2443-8219.

	Total (million tonnes)	Landfill	Incineration	Energy recovery (%)	Backfilling	Recycling
EU-28	2 319.5	47.4	1.5	4.7	10.2	36.2
Belgium	42.8	8.2	4.3	13.6	0.0	73.9
Bulgaria	175.7	97.9	0.0	0.1	0.0	2.0
Czech Republic	19.9	17.3	0.4	5.1	29.1	48.1
Denmark	17.7	21.7	0.0	20.7	0.0	57.6
Germany	370.7	19.2	2.3	10.5	25.3	42.7
Estonia	20.7	65.6	0.0	2.5	11.9	20.0
Ireland	10.0	42.6	0.1	7.2	37.4	12.7
Greece	67.1	88.4	0.0	0.2	8.1	3.2
Spain	103.4	47.9	0.0	3.4	12.6	36.1
France	299.7	29.3	2.0	4.5	10.7	53.6
Croatia	3.5	51.1	0.0	1.4	2.0	45.5
Italy	129.2	16.0	5.2	1.6	0.2	76.9
Cyprus	1.8	58.9	0.0	1.7	25.9	13.5
Latvia	1.9	34.8	0.0	8.7	0.9	55.5
Lithuania	4.5	67.6	0.1	4.1	2.5	25.8
Luxembourg	8.5	38.3	0.0	2.5	16.0	43.3
Hungary	13.7	39.4	0.7	8.9	3.7	47.3
Malta	1.6	28.9	0.4	0.0	37.5	33.3
Netherlands	130.6	45.4	1.0	7.9	0.0	45.7
Austria	53.9	38.6	0.2	6.5	20.1	34.7
Poland	182.4	24.9	0.4	2.7	21.5	50.5
Portugal	9.9	31.8	10.0	3.1	0.0	55.0
Romania	172.2	94.4	0.0	1.3	0.6	3.7
Slovenia	5.4	9.2	0.6	4.9	33.5	51.8
Slovakia	7.1	53.8	0.8	4.4	0.0	40.9
Finland	93.3	80.9	0.5	4.8	0.0	13.8
Sweden	163.3	84.4	0.1	4.7	1.6	9.3
United Kingdom	209.0	41.5	3.6	0.9	10.4	43.6
Iceland (*)	0.5	30.7	0.0	2.7	0.6	66.0
Norway	11.7	17.9	0.5	35.8	5.3	40.5
Montenegro	1.0	98.8	0.0	0.1	0.0	1.0
FYR of Macedonia	1.5	98.7	1.3	0.0	0.0	0.0
Albania	1.2	74.8	3.1	0.5	0.0	21.6
Serbia	49.4	97.3	0.0	0.1	0.0	2.6
Turkey	79.3	70.2	0.0	0.7	:	29.0

(*) 2012.
 Source: Eurostat (online data code: env_wastrt)

Cabe destacar la creciente importancia de la regulación y gestión de residuos, pero aun así insuficiente. La composición de estos residuos no se tiene en cuenta, usándolos directamente en operaciones de relleno.

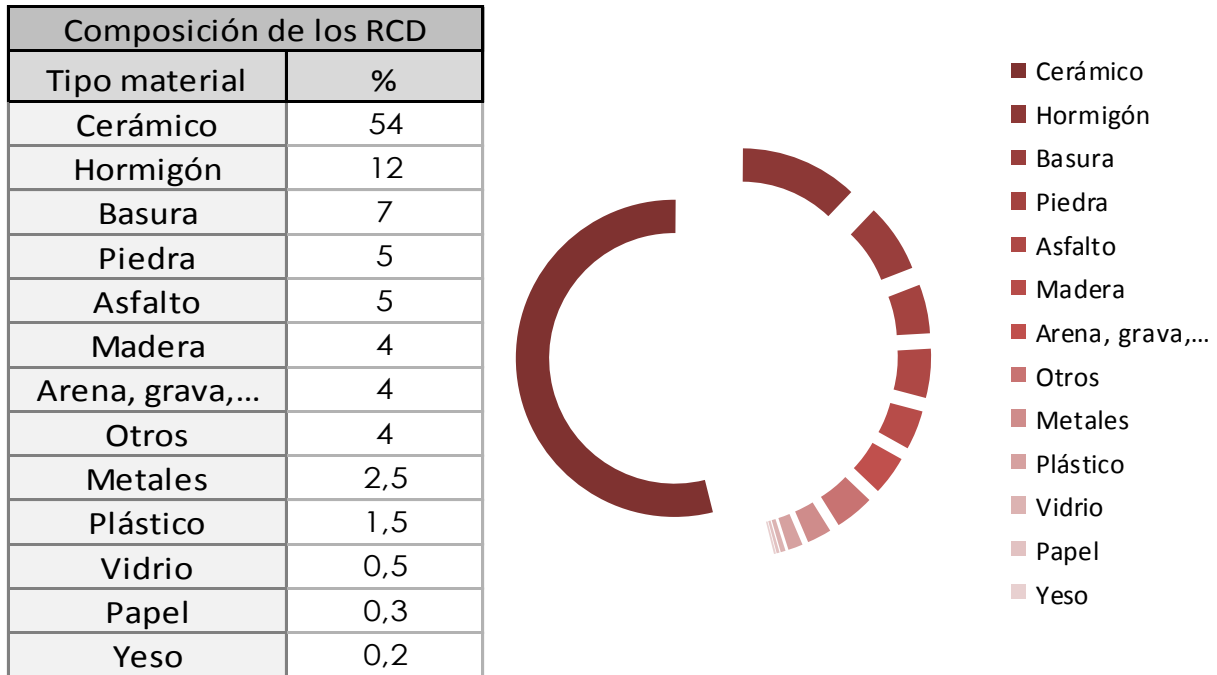


Figura 2. Elaboración propia. *Composición media de los RCD en %.* Fuente: CEDEX.

Normalmente, la composición de los residuos de construcción y demolición se caracterizan por un alto contenido en componentes cerámicos, seguidos de hormigón, gravas, arenas y áridos. En el caso de las demoliciones de obra civil, sus escombros son mayoritariamente de hormigón. Una adecuada separación en origen y clasificación de los diferentes materiales que nos encontramos en los residuos permitirán usarlos y aplicarlos de manera más efectiva en técnicas constructivas más específicas, aprovechando mejor las cualidades y capacidades de dichos materiales.

2.1.2. Definición de residuo de construcción y demolición (RCD)

Cotidianamente se ha escuchado o llamado escombros a los residuos resultantes de construcción y demolición. No son ni más, ni menos, que los restos de materiales provenientes de construcciones (de edificios, ya sean obra nueva o ampliaciones; de infraestructuras; de rehabilitaciones; de restauraciones; así como de cualquier tipo de actuaciones pequeñas) que no hemos podido incorporar en el proceso de ejecución de estos mismos, o por contraposición los resultantes de un proceso de destrucción o demolición de algo existente.

Fue el 1 de febrero cuando el Real Decreto 105/2008 (España. Real Decreto 105/2008) asentó las bases de la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición con el objeto de:

"...establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, con el fin de fomentar, por este orden, su prevención, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, asegurando que los destinados a operaciones de eliminación reciban un tratamiento adecuado, y contribuir a un desarrollo sostenible de la actividad de construcción. Artículo 1".

Aclaró una serie de aspectos para concluir redactando una serie de conceptos que nos hacen saber con exactitud a qué llamamos residuos de demolición y construcción reflejados en el Artículo 2 (España. Real Decreto 105/2008):

Además de las definiciones contenidas en el artículo 3 de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, a los efectos de este real decreto se entenderá por:

Residuo de construcción y demolición: cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de «Residuo» incluida en el artículo 3.a) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, se genere en una obra de construcción o demolición.

Y se excluyen según el Artículo 3 (España. Real Decreto 105/2008):

a) Las tierras y piedras no contaminadas por sustancias peligrosas reutilizadas en la misma obra, en una obra distinta o en una actividad de restauración, acondicionamiento o relleno, siempre y cuando pueda acreditarse de forma fehaciente su destino a reutilización.

b) Los residuos de industrias extractivas regulados por la Directiva 2006/21/CE, de 15 de marzo.

c) Los lodos de dragado no peligrosos reubicados en el interior de las aguas superficiales derivados de las actividades de gestión de las aguas y de las vías navegables, de prevención de las inundaciones o de mitigación de los efectos de las inundaciones o las sequías, reguladas por el Texto Refundido de la Ley de Aguas, por la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de régimen económico y de prestación de servicios de los puertos de interés general, y por los tratados internacionales de los que España sea parte.

La Comisión Europea en el protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE lo define como:

Todo residuo generado en las actividades de las empresas pertenecientes al sector de la construcción e incluido en la categoría 17 de la Lista europea de residuos. La categoría 17 proporciona códigos para varios materiales individuales que pueden recogerse por separado en una obra de construcción o demolición. Incluye los flujos de residuos (peligrosos y no peligrosos, inertes, orgánicos e inorgánicos) generados por las actividades de construcción, reforma y demolición. Los residuos de construcción y demolición se producen en ubicaciones en las que tienen lugar actividades de construcción, renovación o demolición. Los residuos de construcción contienen varios materiales, que a menudo están relacionados con residuos debido a recortes o envases. Los residuos de demolición comprenden todos los materiales que se pueden encontrar en una construcción. Los residuos de reformas pueden contener materiales relacionados tanto con la construcción como con la demolición. En el anexo B se incluye una descripción detallada de los flujos de residuos.

A continuación podemos observar la clasificación de los residuos de construcción y demolición, formando parte de una lista con un total de 20 capítulos donde se recogen los diferentes tipos de residuos según establece la DECISION DE LA COMISIÓN, de 18 de diciembre de 2014, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

17	RESIDUOS DE LA CONSTRUCCION Y DEMOLICION (INCLUIDA LA TIERRA EXCAVADA DE ZONAS CONTAMINADAS)
17 01	Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos
17 01 01	Hormigón
17 01 02	Ladrillos
17 01 03	Tejas y materiales cerámicos
17 01 06*	Mezclas, o fracciones separadas, de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos que contienen sustancias peligrosas
17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, distintas de las especificadas en el código 17 01 06
17 02	Madera, vidrio y plástico
17 02 01	Madera
17 02 02	Vidrio
17 02 03	Plástico
17 02 04*	Vidrio, plástico y madera que contienen sustancias peligrosas o están contaminados por ellas
17 03	Mezclas bituminosas, alquitrán de hulla y otros productos alquitranados
17 03 01*	Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla
17 03 02	Mezclas bituminosas distintas de las especificadas en el código 17 03 01
17 03 03*	Alquitrán de hulla y productos alquitranados
17 04	Metales (incluidas sus aleaciones)
17 04 01	Cobre, bronce, latón
17 04 02	Aluminio
17 04 03	Plomo
17 04 04	Zinc
17 04 05	Hierro y acero
17 04 06	Estaño
17 04 07	Metales mezclado
17 04 09*	Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas
17 04 10*	Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán de hulla y otras sustancias peligrosas
17 04 11	Cables distintos de los especificados en el código 17 04 10
17 05	Tierra (incluida la excavada de zonas contaminadas), piedras y lodos de drenaje
17 05 03*	Tierra y piedras que contienen sustancias peligrosas
17 05 04	Tierra y piedras distintas de las especificadas en el código 17 05 03
17 05 05*	Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas
17 05 06	Lodos de drenaje distintos de los especificados en el código 17 05 05
17 05 07*	Balasto de vías férreas que contiene sustancias peligrosas
17 05 08	Balasto de vías férreas distinto del especificado en el código 17 05 07
17 06	Materiales de aislamiento y materiales de construcción que contienen amianto
17 06 01*	Materiales de aislamiento que contienen amianto
17 06 03*	Otros materiales de aislamiento que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas
17 06 04	Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03
17 06 05*	Materiales de construcción que contienen amianto
17 08	Materiales de construcción a base de yeso
17 08 01*	Materiales de construcción a base de yeso contaminados con sustancias peligrosas
17 08 02	Materiales de construcción a base de yeso distintos de los especificados en el código 17 08 01
17 09	Otros residuos de construcción y demolición
17 09 01*	Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio
17 09 02*	Residuos de construcción y demolición que contienen PCB
17 09 03*	Otros residuos de construcción y demolición (incluidos los residuos mezclados) que contienen sustancias peligrosas
17 09 04	Residuos mezclados de construcción y demolición distintos de los especificados en los códigos 17 09 01, 17 09 02 y 17 09 03

Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero. Operaciones de valorización y eliminación de residuos y lista europea de residuos. Capítulo 17 de la lista Europea de Residuos. Anejo 2. BOE, núm. 43 (ref.: BOE-A-2002-3285).

2.1.3. Aplicaciones de los RCD

Esta línea del tiempo pretende facilitar una lectura de la evolución de estudios así como de las aplicaciones que podemos encontrar hasta el momento de los RCD. Todos ellos buscan la utilización e incorporación de estos residuos a nuevos procesos, ya sean para nuevos materiales, nuevas técnicas constructivas, tratamiento o distribución de los mismos, conocimiento de las características mecánicas del material, etc. Toda información recopilada se ha dividido en tres grandes grupos diferenciados por tres colores. Usaremos este tipo de código para que nos sea más cómoda su comprensión:

PLANTAS DEDICADAS AL SUMINISTRO Y GESTIÓN DE ÁRIDOS RECICLADOS (ANDALUCÍA)

ESTUDIOS:
TESIS, ARTÍCULOS,
INFORMES

APLICACIONES:
PRODUCTOS, TÉCNICAS
CONSTRUCTIVAS

1946

Newman, A. J. *The utilisation of brick rubble from demolished shelters as aggregate for concrete*. Inst Mun Eng J, Vol. 73, No 2, p. 113–121.

1947

Ploger, R. R. *An investigation of the compressive strength of concrete in which concrete rubble was used as an aggregate*. Unpublished thesis, Cornell University.

1971

Crushing Concrete Rubble into Subbase Aggregate. Roads and Streets, 114:44.

Marek, C.R., Gallaway, B.M., Long, R.E. *Look at Processed Rubble – It's a Valuable Source of Aggregates*. Roads and Streets, 114:82.

1972

Recycling Rubble for Highway Purposes. Public Works, 103:87.

Gutt, W. *Aggregates from Waste Materials, Chemistry and Industry*. London.

Marek, C.R. *Supplemental Aggregates for Construction*. Journal of Materials, 7:50.

1973

Buck, A.D. *Recycled Concrete*. Highway Research Record, N° 430.

Pit and Quarry. Recycling Roads and Buildings with Portable Plants. 65:91.

Recycled Rubble Saves Contractors Money. Roads and Streets, 116:80.

1974

Emery, J.J., Change S.K. *Trends in the Utilization of Wastes for Highway Construction*. Proceedings, Fourth Mineral Waste Utilization Symposium, Illinois Institute of Technology, Chicago.

1975

Committee for Research on the Reuse of Construction Waste. *Studies on the reuse of demolished concrete*. Building Contractors Society, Tokyo.

1976

Malhotra, V.M. *Use of Recycled Concrete as a New Aggregate*. Report 76-18, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Ottawa, Canada.

Mid-West Contractors. *P.C. Pavement Recycled*.

Nixon, P.J. *The use of materials from demolition in construction*. Resources Policy, p. 276–283.

1977

Buck, A.D. *Recycled Concrete as a Source of Aggregate*. Journal of the American Concrete Institute, 74:212.

Frondistou-Yannas, S., Ng, H.T.S. *Use of Concrete Demolition Waste as Aggregates in Areas that Have Suffered Destruction. A Feasibility Study*. Department of Civil Engineering,

Massachusetts Institute of
 Technology, Cambridge.

Frondistou-Yannas, S.
 Waste Concrete as
 Aggregate for New
 Concrete. Journal of the
 American Concrete
 Institute.

1978

Ray, G.K. *Recycled
 Concrete-Savings
 Potential*. The American
 Transportation Builder,
 55:12.

1979

Wilson, D.G., Davidson,
 T.A., Ng, H.T.S. *Demolition
 Wastes: Data Collection
 and Separation Studies*.
 Massachusetts Institute of
 Technology, Department
 of Mechanical
 Engineering, Cambridge,
 MA.

Takeshi, M., Torao, K.,
 Muneo, N., Masafumi, K.
*Study on Reuse of Waste
 Concrete for Aggregate
 of Concrete*. Japan-U.S,
 Science Seminar on
 Energy and Resource
 Conservation in Concrete
 Technology, San
 Francisco, U.S.A.

1980

Kreijger, Pieter C.
*Adhesion Problems in the
 Recycling of Concrete*.

1985

ORTEGA VELA S.A.

1986

SADECO S.A.

Torben, C. Hansen.
*Recycled aggregates and
 recycled aggregate
 concrete second state-of*

*the-art report
 developments 1945–1985*.

1987

EPSILON S.L.

1991

PUSAMA S.L.

1992

EPREMASA Rute
 EPREMASA Nueva
 Cartagena
 EPREMASA Fuente
 Palmera
 EPREMASA Montoro
 EPREMASA Belmez

Taylor & Francis. *Recycling
 of Demolished Concrete
 and Masonry Report of
 Technical Committee 37-
 DRC Demolition and
 Reuse of Concrete*.

1994

Hnos. MEDINA S.L.

1995

Áridos la Ventilla S.L.
 (Grupo Sando)

EXNITRANSA S.L.

1996

Aristerra S.L.

1997

Reciclados Mijas S.L.

Hermanos Marchal S.L.

1998

APROINDO S.L.
 (Aprovechamientos
 Industriales Doñana).

Collins, R.J., Harris, D.J.,
 Sparkes, W. *Blocks with
 Recycled Aggregates:
 Beam and Block Floors*.

Collins, R.J. *Recycled
 aggregates*. BRE Report
 BR 392.

1999

Inertes Guhilar S.L.

2002

El Soto S.L.

Reciclados Almerienses
 2005 S.L.

El Ministerio de Medio
 Ambiente. *Catálogo
 CEDEX*. Ha elaborado un
 catálogo a través del
 CEDEX (Centro de
 Estudios y
 Experimentación de
 Obras Públicas) con el
 objetivo de conocer con
 mayor exactitud qué tipo
 de residuos son más
 abundantes en cada
 comunidad autónoma,
 qué características
 técnicas tienen estos, y,
 por consiguiente, que
 aplicaciones podemos
 dar a estos residuos.

2004

*Desarrollo de estrategias
 de obtención de
 cemento a partir de los
 residuos de construcción
 y demolición*.
 Hormigón y acero, nº234.

Gonzales-Fonteboá, B.,
 Martínez-Abella, F.
*Hormigones con áridos
 reciclados: estudio de
 propiedades de los áridos
 y de las mezclas*. Estudio
 de hormigones
 estructurales fabricados
 con áridos procedentes
 de hormigón.

2005

*Recycled aggregates
 concrete: aggregate and
 mix properties*. Materiales
 de construcción, Vol. 55,
 nº279.

ZICLA. Prefabricados de hormigón con áridos reciclados.

MOVITEZ BOZA S.L.

GECORSA

2006

CENTRO AMBIENTAL DE MÁLAGA "LOS RUICES" (LIMASA S.L.)

RECICOR XXI S.L.

RECICLADOS AXARQUÍA

Del Río Merino, M. et al. *Los nuevos materiales de construcción como alternativa al reciclaje de los residuos industriales: mortero de cemento-caucho reciclado (CCR).*

Bloques GDP. Áridos Pérez. Bloques prefabricados con hormigón elaborado entre un 50-100% de áridos procedentes de materiales de construcción y demolición.

2007

ARESUR S.L.

Reciclados Ecobaena S.L.

Domínguez Lepe, J., Martínez, L. *Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas.* Ingeniería 11-3, 43-54.

2008

Recimat, Reciclajes y Suministro S.L.

ARECOSUR S.L.

RECICLADOS ESPEJO S.L.

URBAJICAR U.T.E

Proyecto GEAR, con una duración aproximada de 3 años, iniciativa de la Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (GERD), con la finalidad de redactar una guía de áridos reciclados procedentes de RCD. En dicha guía podemos ver una serie de recomendaciones técnicas, contrastadas a través de ensayos para utilizar los áridos como parte de los componentes de las siguientes aplicaciones (clasificación según la guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición).

El Caleyo Nuevas Tecnologías S.A. Proyecto de investigación para reutilizar áridos reciclados en la fabricación de bovedillas de hormigón.

2009

INGOSERMA S.L.

Diseño y prestaciones de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón. Materiales de Construcción 59.

Goodship, V. *Management, Recycling and Reuse of Waste Composites.*

La empresa Gestora de Runes del Bages, S.L. investigó para la elaboración de mobiliario urbano de hormigón sustituyendo por completo la fracción 20/40 mm del árido natural por reciclado de escombros.

Pastor S.A. y Fundación Rafael Escolá. Proyecto de investigación para diseñar una línea de mobiliario urbano a base de hormigón reciclado a partir de prefabricados vibrocomprimidos.

BREINCO crea una línea de productos Eco-logic, Breincocycle, con un 20-40 % de árido reciclado. Posee una gama de productos prefabricados amplia: pavimentación exterior, bloques para muros de contención, mobiliario urbano, etc.

2010

EIDER (Ecoindustria de reciclado S.L.)

Proyecto I+D+I "Desarrollo de aplicaciones de residuos de construcción y demolición". ASTESA S.L. y el Centro Tecnológico de la Región de Murcia. Proyecto para la valorización de residuos de construcción y demolición mediante su empleo con áridos reciclados en prefabricados de hormigón no estructurales.

GIASA. Recomendaciones para la redacción de Pliegos de Especificaciones Técnicas para el uso de materiales reciclados de residuos de construcción y demolición.

Tempest, B., Cavalline, T., Gergely, J., David W. *Construction and Demolition Waste Used as Recycled Aggregates in Concrete: Solutions for Increasing the Marketability of Recycled Aggregate Concrete.* UNC Charlotte.

2011

La Trinchera Reciclados S.L.

CEDEX-AIDICO-LABEIN-UCO. Usos de áridos mixtos procedentes de RCD. Publicación IHOBE-CEDEX.

Pavón, E., Etxeberria Larrañaga, M., Martínez Herrera, I. *Propiedades del hormigón de árido reciclado fabricado con adiciones, activa e inerte.* Revista de la Construcción Volumen 10 Nº 3 - 2011 p. 4-15. Descripción de las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los hormigones fabricados con el 25% y 100% de árido grueso reciclado utilizando adiciones activa e inerte (microsílice y filler de escoria de arco eléctrico).

Jie Liu, H., Xin Li, P., Gai Cao, S., Qing Zhao, F. *Preparation of High-Performance Brick from Construction and Demolition Waste.*

Grupo Pastor S.A. Han utilizado áridos reciclados mixtos para piezas de hormigón vibrocomprimido como adoquines y mobiliario urbano de hormigón reciclado.

2012

Barbudo Muñoz, M.A. *Aplicación de los RCD, concretamente áridos reciclados mixtos cerámicos (tanto ligados con cemento como no ligados), en la construcción de infraestructuras viarias (firmes de carreteras).*Tesis.

Proyecto GEAR-GERD. *Guía de Áridos Reciclados Procedentes de RCD.*

2013

Ecoinertes S.L.

Unión De Reciclajes Y Escombros S.L.

María Martín Morales, M. *El residuo de construcción y demolición (RCD) como árido en la elaboración de prefabricados no estructurales.* Tesis.

Rodríguez Pasadín, A.M. *Sensibilidad al agua y propiedades mecánicas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición.* Tesis.

Marrero, M. et al. *Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados.* Informes de construcción, 65.

Stonecycling. **WasteBasedBricks®** son ladrillos fabricados a partir de diversos tipos de residuos, incluidos los RCD, con el objetivo de conseguir nuevos colores, texturas, formas y tamaños.

2014

Gómez Mejjide, B. *Construcción y mantenimiento de carreteras para emplear los residuos de construcción y demolición como áridos reciclados de mezclas bituminosas en frío.* Tesis.

Rosas Chaves, A. *Mobiliario urbano prefabricado en concreto con agregado grueso reciclado.*

Salesa Bordonaba, A. et al.

Variación de las propiedades mecánicas en un hormigón con varios ciclos de reciclaje. Estudio de las consecuencias de la sustitución del 100% del árido natural por áridos reciclados provenientes del primer y segundo ciclo de reciclado de la fracción gruesa en la fabricación de hormigón estructural.

2015

Vásquez Hernandez, A. et al. *Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional.* Ingeniería y ciencia, vol.11, nº 21, p.197-220.

Sáiz Martínez, P. *Utilización de arenas procedentes de Residuos de Construcción y Demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería.*Tesis.

Asensio de Lucas, E. *Valorización de residuos de construcción y demolición como puzolanas alternativas en la fabricación de cementos eco-eficientes.* Tesis.

Asociación Españolas de Reciclaje de Residuos de Demolición y Construcción. *Creación de una plataforma nacional para la representación de las empresas del sector del reciclaje de RCD en España.*

Silva Urrego, Y.F. et al. *Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición*. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, volumen 35 (1), p. 86-94.

Mejía Restrepo, E., Osorno Bedoya, L. y Osorio Vega, N.W. *Utilización de RCD para la bio-recuperación de suelos urbanos mineros degradados*. Revista EIA, vol. 12, nº2.

Comunidad Europea. *Holistic Innovative Solutions for an Efficient Recycling and Recovery of Valuable Raw Materials from Complex Construction and Demolition Waste – HISER*. El proyecto con una duración de 4 años y un total de 25 socios europeos que apuestan por desarrollar nuevas soluciones económicamente sostenibles para una mayor recuperación de los RCD.

Muñoz Ruiperez, C. *Propiedades físicas y durabilidad de morteros aligerados con arcilla expandida y agregados con áridos reciclados*. Tesis.

Nikola, T. et al. *Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use*. Journal of Cleaner Production, 87.

CASALÉ Gestión de Residuos S.L. *Bloque prefabricado de hormigón fabricado íntegramente con áridos reciclados, Megalito*.

2016

Contreras, M. et al. *Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study)*. vol. 123, p. 594-600.

Romaniega Piñeiro, S. *Refuerzo de la escayola mediante fibras de lana mineral procedentes del reciclaje de RCD*. Tesis.

Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. *Catálogo de firmas y unidades de obra con áridos reciclados de RCD*.

Castro Vanegas, R.R. y Martínez Martínez, J.A. *Aprovechamiento de Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) Para Ser Utilizados Como Agregados en El Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente*. Tesis.

AIRIDi. *Desarrollo de Nuevos Materiales de Construcción Puzolánicos Basados en la Valorización de Residuos y Subproductos*. Proyecto coordinado por DIGITAL Ingeniería y Gestión S.L. con el objetivo de caracterizar las propiedades físicas y químicas de un ladrillo puzolánico basado en RCD.

Etxeberria, M., Gonzalez-Corominas, A. y Galindo, A. *Estudio de la aplicación del árido reciclado mixto en hormigón poroso y como relleno de zanjas en la ciudad de Barcelona*. Vol 68, Nº 542.

Diego Jovells, F.J. *Estudio técnico experimental de hormigones con fibras de*

polipropileno, fibras metálicas y áridos reciclados para su utilización en pavimentos de baja intensidad de tráfico.

Ammar Al-Shayeb, S.K., M.Khan, I. *Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate for Sustainable Construction Materials*.

Andreu, G.C., Miren, E. *Effects of using recycled concrete aggregates on the shrinkage of high performance concrete*. Construction and Building Materials, 115.

Onadis Barcelona Disseny, S.L. *elabora mobiliario urbano y piezas de éstos con áridos reciclados provenientes de derribos*.

2017

Ladrillos CICLO: estos innovadores utilizan residuos de materiales de construcción para desarrollar ladrillos que se puedan utilizar en construcción. El proyecto reduce la explotación de las canteras y reduce el daño al medio ambiente. Ideas Audaces en Gran Feria de Capacitación de SODIMAC.

Mohamad Azim, S.S. et al. *Utilizing Construction and Demolition (C&D) Waste as Recycled Aggregates (RA) in Concrete*.

Li, Y., Zhou, H., Su, L., Hou, H. y Dang, L. *Investigation into the Application of Construction and Demolition Waste in Urban Roads*.

2018

Grupo de interés.
Agrupación de
asociaciones de gestores
de RCD

Esteban Altabella, J.
*Herramienta de cálculo
para la construcción,
explotación y clausura de
depósitos controlados
con valorización de
residuos inertes.* Propone
el uso de áridos
provenientes de
construcción y demolición
para la construcción de
vertederos y depósitos
controlados urbanos,
pudiendo evitar la
contaminación de 515
millones de toneladas de
áridos naturales en la UE y
permitiría la generación
de ingresos superiores a
los 669 millones de euros,
según los cálculos
obtenidos en
LabWaste.2020. Tesis.

Del Rey Tirado, I.A.
*Evaluación ambiental y
aplicaciones de áridos
procedentes de RCD
ligados con cemento en
Ingeniería Civil.* Tesis.

2019

*Aplicación de los RCD
para neutralizar lodos
peligrosos en el proceso
de tratamiento de aguas
municipales.* Construction
and building Materials, Vol
204.

El primer intervalo
corresponde con una
franja temporal que
podemos acotar entre los
años 1946 y 1985. Es la
etapa que sienta las
bases del conocimiento
científico sobre el empleo
de los áridos reciclados.

Se manifiesta su gran
potencial y sus posibles
usos. También hay
quienes empezaron a
manifestar los resultados
de sus experimentos.

Esta segunda etapa, 1985
a 2002, se caracteriza por
la creación de empresas
dedicadas al suministro y
gestión de áridos
reciclados en Andalucía.
La mayoría de ellas
empezaron ofreciendo
servicios de
contenedores, grúas,
sacas de arena para la
retirada de escombros,
excavadoras y mini
excavadores,
movimientos de tierra y
demoliciones, suministro
de áridos, alquiler de
cubas, etc. Pero poco a
poco han renovado las
instalaciones y
perfeccionado
maquinaria. Incluso
algunas de ellas han
llegado a incorporar en
sus plantas zonas para
clasificar y gestionar los
residuos de construcción y
demolición, para
posteriormente distribuir
este árido reciclado.

De 2002 a 2013, podemos
considerarlo como un
período de transición en
el cual vemos una
confluencia de todos los
campos: apertura de
nuevas plantas de
tratamiento, primeros
estudios para clasificar y
gestionar los RCD y
algunas aplicaciones
nuevas.

Por último, desde 2013
hasta nuestros días, es
una etapa mucho más
teórica y de investigación,
dónde podemos apreciar
la gran necesidad de
incorporar los escombros
en nuevas técnicas
constructivas para darles
un nuevo uso.

Podemos ver cómo la
preocupación por
gestionar y dar salida a
los escombros generados
por construcciones y
demoliciones incrementa
considerablemente.

Cada vez hay más
estudios sobre posibles
aplicaciones y nuevos
materiales. Proyectos de
pequeña escala que
sirven de investigación
para asentar las bases
sobre cómo tratar los
residuos y conocer mejor
las capacidades
mecánicas de las nuevas
aplicaciones, así como su
mejor puesta en obra.
Aún está en proceso de
implantación el uso de
RCDs en nuevas
aplicaciones o productos
comercializables en el
campo de la
construcción.

2.1.4. Economía circular (CE)

El concepto de economía circular o CE (Circular Economy) nace con el objetivo de sustituir el modelo de economía lineal. Su origen empieza a clarificarse en 1990 cuando Pearce y Turner publican el libro *“Economics of natural resources and the environment”*, en el cual manifiestan su gran preocupación por el medio ambiente y un sistema económico que instaure una metodología, para la gestión de productos, no destructiva con el planeta donde habitamos. Esta nueva estrategia circular hace hincapié en administrar los productos de tal manera que reduzcamos los materiales de entrada al máximo así como la producción de desechos vírgenes. Compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar, reciclar,..., son algunos conceptos que debemos tener presentes para llevar a cabo este modelo. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende. El hecho de conocer todo el ciclo de vida de un producto nos hace plantearnos el diseño de dicho producto, su composición, así como su capacidad de volver a ser reutilizado o reciclado. Por lo tanto, la economía circular es la intersección entre las cuestiones económicas y ambientales.

“La economía circular es generadora de empleo. El sector de la gestión de los residuos representa en España miles de puestos de trabajo. En un contexto de escasez y fluctuación de los costes de las materias primas, la economía circular contribuye a la seguridad del suministro y a la reindustrialización del territorio nacional. Los residuos de unos se convierten en recursos para otros. El producto debe ser diseñado para ser deconstruido. La economía circular consigue convertir nuestros residuos en materias primas, paradigma de un sistema de futuro”.

ACR+. Economía circular: Reducir, reusar y reciclar para cambiar los modelos de producción y conseguir un uso eficiente de los recursos. [en línea]. Disponible en: <https://www.sistemasmedioambientales.com/acr-economia-circular> [Consulta: 4 de febrero 2019].

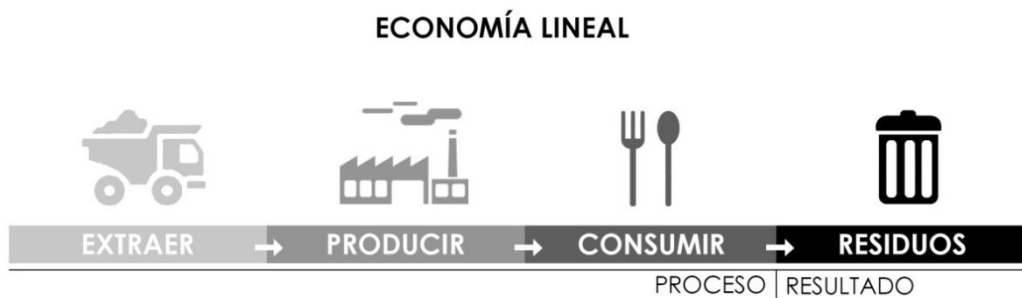


Figura 3. Elaboración propia. Esquema de procesos y resultados de la economía lineal.

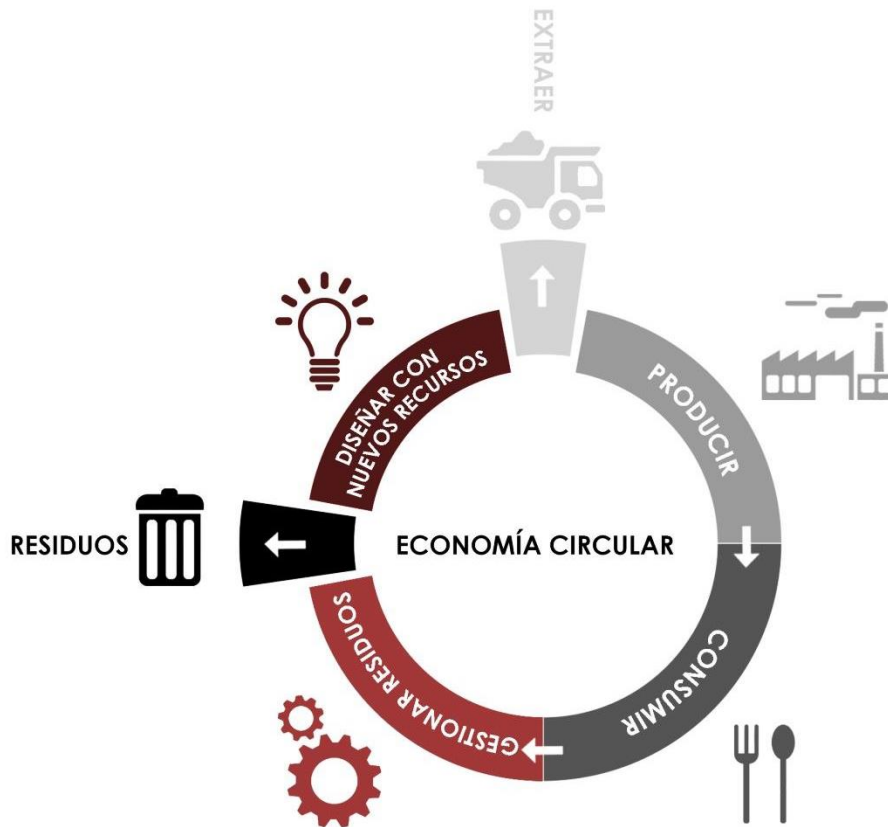


Figura 4. Elaboración propia. Esquema de procesos y resultados de la economía circular.

Para poder entender el concepto de economía circular es mejor contraponer ambos sistemas: economía lineal y economía circular. A diferencia de la economía lineal (Figura 3) cuyo único objetivo es generar unos materiales que tras ser utilizados-consumidos se convierten en residuos acumulados en vertederos, el objetivo de la economía circular (Figura 4) es expulsar del círculo de proceso a las casillas de extracción y residuos para conseguir un sistema que se mantiene por sí solo sin necesidad de explotar nuevos materiales y acabar con lo que hoy entendemos por residuos, para acabar considerándolos nuevos recursos con los que comenzar una nueva producción.

La Comisión Europea apuesta por la economía circular invirtiendo 650 millones de euros para reactivar la reindustrialización con proyectos que sean innovadores y sistemáticos ecológicamente hablando (Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre la aplicación del plan de acción para la economía circular, Bruselas 26 de enero de 2017).

Según el nuevo informe del Banco Mundial, *What a Waste 2.0*, crecerán un 70% los desechos a nivel mundial para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. Se prevé que en los próximos 30 años los desechos generados a nivel mundial aumentarán de 2,01 billones de toneladas (registradas en 2016) a 3,4 billones de toneladas de desechos por año. De estos, 500 millones de toneladas anuales son procedentes de sectores de construcción y demolición, solamente en la UE. (Comisión Europea, paquete sobre la economía circular. Bruselas, 2 de diciembre de 2015).

Cabe destacar que en el sector de la construcción, el hormigón armado (en aspectos estructurales) ha sido la técnica más usada y que por tanto, más toneladas de residuos de construcción y demolición genera. Numerosas empresas se han sumado al uso de áridos reciclados para la realización de nuevos hormigones, demostrándose que las condiciones y capacidades mecánicas de los nuevos productos no son inferiores a las del hormigón con áridos no reciclados. Estamos considerando materias primas a los residuos para incorporarlos de nuevo a un ciclo sin fin. La optimización de los recursos, así como la incorporación de los desechos en nuevos procesos capaces de utilizarlos adecuadamente, son la garantía para una transición hacia la economía circular y la convivencia con nuestro planeta.

2.1.5. Modelo de gestión

Un modelo de gestión tiene como objetivo marcar las pautas de un proceso a seguir para conseguir un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción. El cumplimiento de un modelo o protocolo tiene por objetivo garantizar la adecuada gestión de los materiales así como ver las potencialidades de cada uno de ellos para poder volverlos a incorporar en procesos, en nuestro caso constructivos, dependiendo del uso que se le pretenda dar. También, sirve de ayuda a los profesionales de este campo para plantearnos nuevas alternativas y nuevos métodos a la hora de construir con materiales preexistentes, así como guía de verificación de cumplimiento de los pasos más importantes en los proyectos de construcción, reforma, rehabilitación y demolición. El siguiente modelo de gestión (Figura 5) es una elaboración propia fruto del contraste del modelo proporcionado por la UE, el modelo personalizado por la Junta de Andalucía.

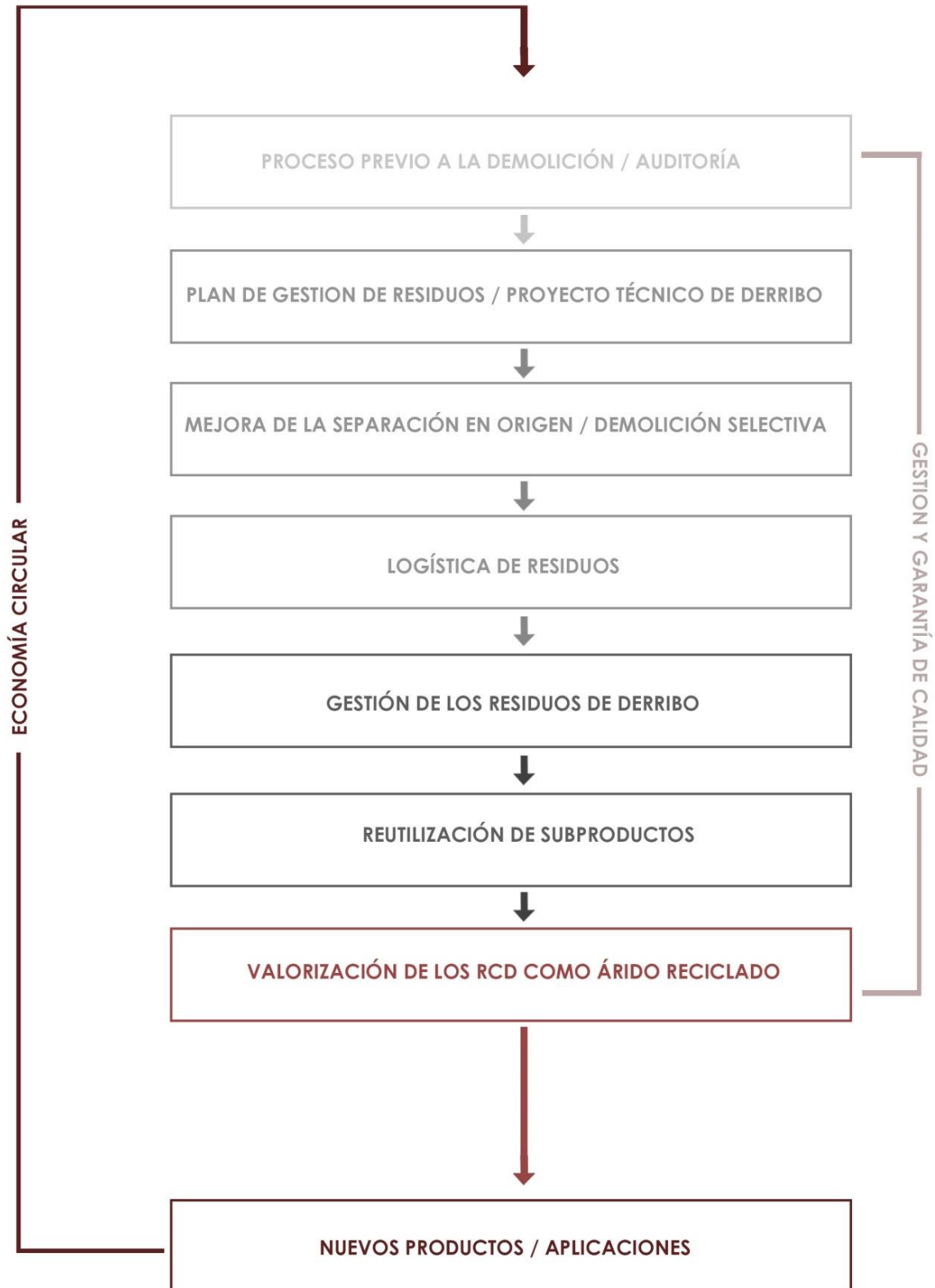


Figura 5. Elaboración propia. Esquema de modelo del proceso de gestión de residuos de construcción y demolición.

2.2. Justificación del estudio

Por todo lo anterior, queda patente la problemática que suponen los RCD, por ello, la motivación principal de esta investigación no es otra que contribuir a mejorar los ámbitos de gestión y ejecución en el sector de la construcción, así como la reducción del consumo incontrolado de materiales para la realización de proyectos arquitectónicos. Uno de los elementos que me han llevado a seleccionar este tema ha sido la tierra, material de valiosísima importancia debido a su capacidad de ser reutilizado sin necesidad de emplear gran aporte de energía (excepto la mano de obra necesaria para su modelado y el diseño de la configuración arquitectónica). Se hace, ahora más que nunca, imprescindible para aplicarlo en nuestros proyectos arquitectónicos. El incremento y la acumulación incontrolada de residuos, han sido argumentos decisivos para iniciar una búsqueda de técnicas que sean capaces de aprovechar los deshechos que constantemente vamos a generar para poder tratarlos y volver a incorporarlos en un ciclo de vida sin fin. Por ello parte del planteamiento se centra en la incorporación de residuos existentes en técnicas constructivas actuales, para poder gestionar e incorporar los residuos en una economía circular, donde siempre podremos tratarlos e incorporarlos una y otra vez.

La técnica de tierra proyectada con la nueva incorporación de áridos reciclados aplicada a revestimientos da salida a una mercancía muerta y a la vez integra un material autóctono, accesible, y fácil de procesar (la tierra). Es un tema que puede servir para cambiar y concebir diferentes maneras de proyectar hacia una arquitectura que sepa integrarse con el medioambiente, en aspectos energéticos y con el uso de materiales autóctonos que se trasladen a una realidad estética visual.

3. OBJETIVOS

A continuación se recogen los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación sobre un nuevo material compuesto de: tierra procedente del sustrato del Horizonte B y C del suelo edáfico formación Alhambra, áridos RCD procesados en una planta de tratamiento, cal hidráulica natural (NHL-5), cemento blanco albañilería, agua y aditivos para su utilización en revestimientos en construcción.

Los objetivos principales planteados en el proyecto han sido:

- Estudiar la viabilidad del empleo del proceso de la técnica constructiva “tierra proyectada” identificando el material compatible granulométrico procedente de residuos de construcción y demolición.
- Alargar el ciclo de vida de los residuos de construcción y demolición (RCDs) incorporándolos en la técnica de tierra proyectada.
- Búsqueda de la mezcla idónea para proyectar, teniendo en cuenta como referencia el suelo patrón (Tierra de la Formación Alhambra).

Para alcanzar los objetivos generales, hemos planteado los siguientes objetivos específicos:

- Testar a través de ensayos las capacidades mecánicas y el comportamiento del nuevo material en correspondencia con las distintas pruebas.
- Indagar sobre la compacidad/porosidad del material a la hora de proyectarlo sobre un paramento.
- Estudio de las características-propiedades de la masa aportada.
- Evaluación de los resultados.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO

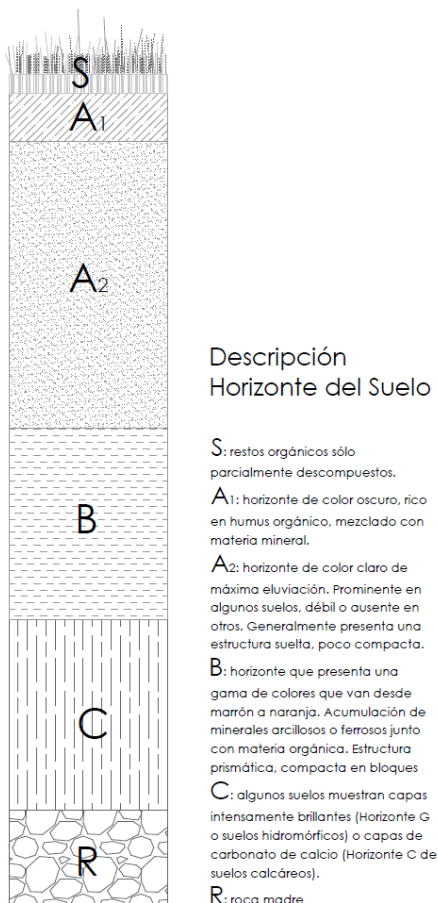
El punto de partida reside en comprender la técnica constructiva que se va a emplear y los materiales con los que vamos a trabajar.

En el proceso de desarrollo de esta investigación se ha utilizado diferentes tipos de materiales los cuales han sido estudiados mediante ensayos normalizados y posteriormente se han analizado y discutido los resultados obtenidos. El material base de este estudio es el perteneciente al Horizonte B del suelo edáfico de la Formación Alhambra junto con el techo del Horizonte C. Este suelo ha sido mezclado con diferentes dosificaciones de AR tamaño arena y gravilla con el fin de mejorar el rendimiento de esta mezcla para poder usarla mediante la técnica constructiva de tierra proyectada®.

Definición de Tierra proyectada: *puesta en obra de una tierra la cual se corrige texturalmente en su caso, y se aplica sobre un soporte mediante proyección a velocidad, previamente transportada desde la tolva y lanzada a través de la boquilla (Fuentes, 2010).*

4.1. Materiales empleados

4.1.1. Tierra, suelo edáfico formación Alhambra



Es el material que representa el mayor porcentaje en nuestra mezcla. Hemos escogido en mayor medida la tierra correspondiente al Horizonte B (o iluvial) del suelo edáfico de la Formación Alhambra que aflora al noroeste de la Depresión Granadina, junto con la parte superior o techo del Horizonte C (o inferior). El horizonte B es una capa de acumulación de material y sales provenientes de horizontes superiores (comúnmente llamado Horizonte A). Es rico en arcillas, óxidos de hierro y aluminio, compuestos húmicos y cationes lixiviados provenientes de horizontes superiores. Estos compuestos dependen de la zona en la que nos encontremos y del clima del lugar, pudiendo verse afectada su composición significativamente.

Figura 6. Elaboración propia. *Esquema de Descripción Horizonte del Suelo. Inspirado en "El perfil del suelo" (Ibáñez 2008).*

En nuestro caso el Horizonte C es la capa más pura, poco afectada por los procesos pedogenéticos, caracterizada por las propiedades que más se acercan a nuestra idea del suelo real. Compuesta en su mayoría por sedimentos y fragmentos de roca, más concretamente, de sedimentos coluviales que constituyen la Formación Alhambra. Cabe destacar su representativo color rojizo, el cual se ve intensificado por factores como la humedad o la posible materia orgánica que posea el suelo.

4.1.2. Áridos reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición

Son residuos provenientes de construcción y demoliciones que son transportados a planta para ser tratados mediante procesos de machacado y triturado, así como de una selección del material idóneo. En nuestro caso disponemos de una mezcla de dos tipos de fracciones: fracción fina o arena (0/4 mm) y fracción gruesa o gravilla (4/16 mm). En su composición podemos encontrar los siguientes materiales: hormigón en un mayor porcentaje, material cerámico, ladrillos, gres vidrio, porcelana, etc.

Se ha partido de la caracterización de los áridos reflejada en la Tesis de Doctoral de Sánchez Roldán (Sánchez, 2019) dónde concluye diciendo que: *los áridos reciclados caracterizados se han considerado aptos para su uso en la fabricación de hormigón no estructural; a pesar de tener un contenido del 6,65% de partículas inferiores a 4 mm y un porcentaje de material bituminoso del 1,8%, los valores fueron ligeramente superiores a los admitidos por la Instrucción de Hormigón estructural EHE-08.*

Es un material bien procesado, con una granulometría adecuada para ser usado en la técnica de proyección de tierra y compatible con la tierra empleada.

4.1.3. Cal hidráulica natural

Hemos utilizado como aglomerante principal la cal hidráulica natural NHL 5 (alta hidraulicidad).

La cal hidráulica natural es un aglomerante hidráulico y pulverulento, parcialmente hidratado, que se obtiene calcinando calizas, que contienen entre 15 y 20% de arcilla, correctamente denominadas margas. Durante la cocción con temperaturas por debajo la clinquerización (aprox. 1200°C) se forman silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio que confieren al ligante un carácter hidráulico por lo cual es capaz de fraguar como el cemento y endurecerse incluso debajo del agua (formación de hidratos insolubles). Al fraguado sigue la carbonatación de la "cal libre", no asociada a la arcilla. Esta reacción es aérea (no hidráulica), precisa agua o humedad ambiental y gas carbónico del aire y es responsable para la resistencia

progresiva de la cal hidráulica natural. Varía según su índice de hidráulicidad.
CANNABRIC. Ficha técnica cal hidráulica natural (EN 459-1).

Es un tipo de cal muy usado en restauración y bioconstrucción. Entre sus características principales cabe destacar la poca tendencia a la fisuración, su gran plasticidad y adherencia en diversas superficies. En cuanto a las características mecánicas más destacables, tenemos una resistencia a compresión a los 7 días de 2,0 MPa y a los 28 de 5 MPa.

Por otra parte, nos hemos apoyado en los datos obtenidos por Rocío Pérez Acosta en el trabajo de investigación: *“Caracterización de suelos edáficos procedentes de coluviales o vertidos antrópicos de la formación alhambra para su uso en conservación y mantenimiento del patrimonio y su identidad cultural”*. Obteniendo como resultado la resistencia a compresión de la cal Hidráulica Natural NHL 5 (Secil Argamassas).

Se determinan las resistencias a los 7 y 28 días a compresión, obteniéndose 2.1 y 4.8 MPa, respectivamente. Según la UNE-EN 459-1 la cal utilizada, NHL 5, debe presentar un mínimo de 2 - 5 MPa a 7 y 28 días respectivamente. No obstante, esta normativa en su anexo A (Métodos de evaluación estadística...), permite valores límite individuales de 4 MPa, por lo que los resultados obtenidos son satisfactorios aunque algo ajustados. (Acosta, 2016).

4.1.4. Cemento

Al igual que la cal, el cemento ha sido empleado como conglomerante y material que mejora las capacidades mecánicas de la mezcla resultante; en este caso con un bajo porcentaje y sólo con el fin de obtener resistencias a muy corto plazo. Se ha utilizado un cemento blanco para trabajos de albañilería, cuyo formato es de sacos de 25 kg a granel. El tipo escogido es el cemento BL 22,5 X, con una resistencia a compresión mayor de 10 MPa y 2,5 MPa a los 7 y 28 días respectivamente. Cumple las especificaciones técnicas de la normativa UNE-EN 413-1:2011. Caracterizado por el elevado índice de blancura, mayor del 85% (Blancura L) según especificaciones de la UNE 80305.

4.2. Campo

4.2.1. Toma de muestras de tierra en yacimiento (Formación Alhambra/coluvial de la Formación Alhambra)

Partiendo del objeto principal de esta investigación, la búsqueda de un material capaz de ser proyectado cuya composición sea mayoritariamente de tierra F, Alhambra y AR, comenzamos con la extracción a través de medios manuales de muestras de terreno.

En la zona nororiental de Granada, en las cercanías a El Fargue, encontramos áreas idóneas y de fácil acceso para la extracción de tierra con las características que estamos buscando. Estamos en un área caracterizada por conglomerados y arenas (Figura 7, llamado conglomerado de la Alhambra o Formación Alhambra (IGME, y Valverde-Palacios et al., 2014).

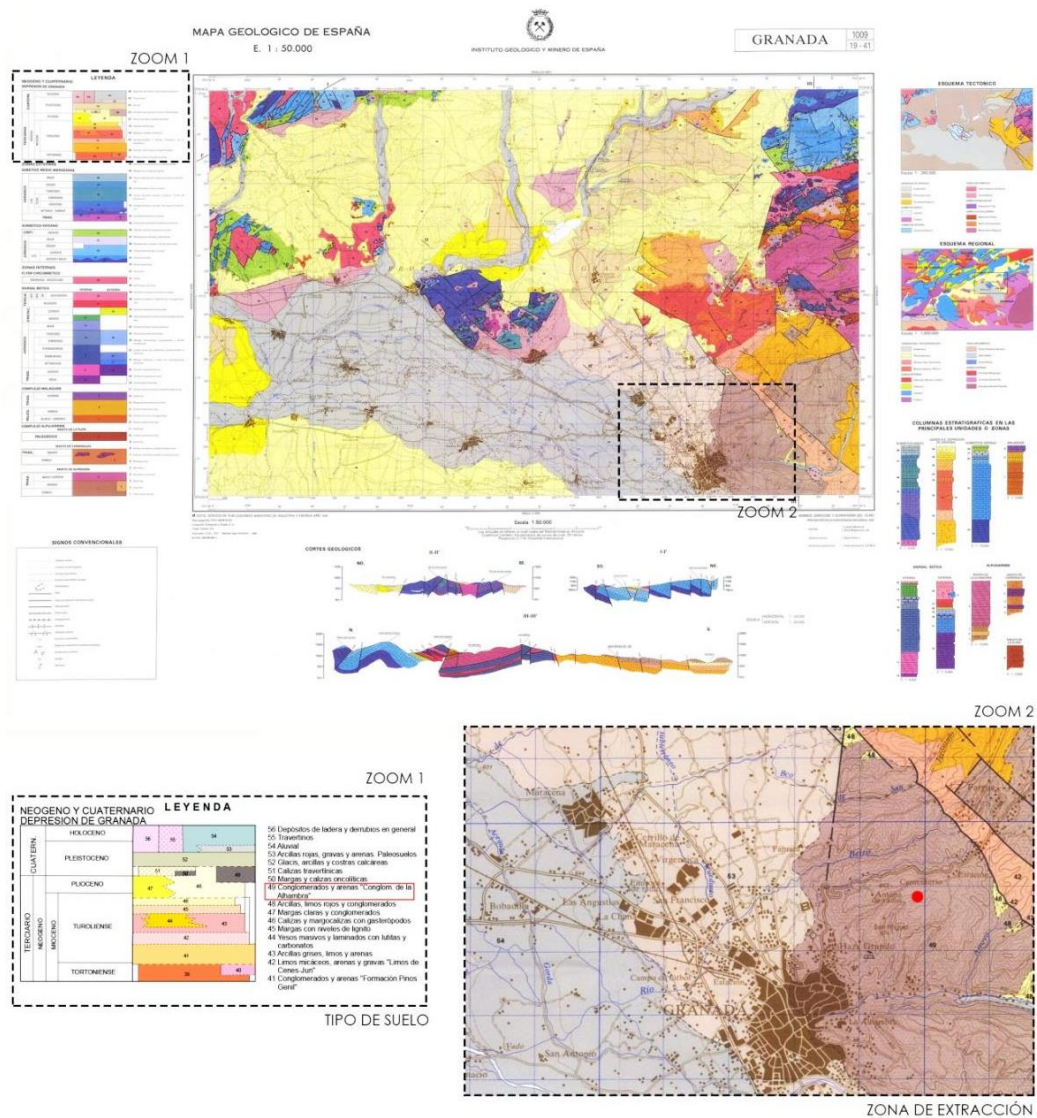


Figura 7. Mapa geológico de España. Hoja 1009 Granada. IGME.

4.2.1.1. Extracción

Las muestras extraídas fueron tomadas por medios manuales mediante la ayuda de herramientas de labranza facilitadas por el laboratorio de la ETSIE, siendo almacenadas en sacos de 20 kg y transportadas a laboratorio con el fin de aplicar un primer tratamiento de limpieza, con desbroce de vegetación superficial, previo a la realización de ensayos. Durante la extracción se pudo observar el estado en el que se encontraba el terreno a extraer, se trataba de una situación de material expuesto a los agentes meteorológicos protegido únicamente por la capa superior del horizonte A, la cual fue desbrozada y saneada para poder realizar una recogida de la misma sin demasiado material que necesitase ser eliminado.



4.2.1.2. Tratamiento previo

Partimos de una limpieza superficial de los restos vegetales y de los cantos de roca con un tamaño superior a lo aceptable (>20 mm) para realizar los ensayos granulométricos. Se seca la muestra mediante la exposición solar y estufa. Cabe destacar la escasez del porcentaje de la fracción comprendida entre 10-20 mm, por lo que hemos prescindido de estos tamaños. Esta decisión favorece a una selección de material más fino aplicable a la técnica de proyección de tierra (Figura 8.1).



Partimos de una porción de tierra formación Alhambra tomada de diferentes alturas mezclada y homogeneizada. Cuarteamos la muestra para escoger 4 partes significativas de la misma que nos permitan identificar la heterogeneidad del suelo (Figura 8.2).

Pesamos y anotamos cada una de las partes. Hacemos sacos de unos 5 kg aproximadamente para posteriormente someterlos a diversos ensayos (Figura 8.3 y 8.4).



Figura 8. Tratamiento previo

4.2.2. Recepción e identificación de los RCDs suministrados por la empresa Inertes Guhilar S.L.

Material recogido y facilitado en la planta de tratamiento Inertes Guhilar S.L. ubicada en Alhendín, Granada (Figura 9). Los áridos provienen del triturado y cribado de residuos de construcción y demolición codificado como 17 01 07 conforme al Listado Europeo de Residuos (Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero. *Operaciones de valorización y eliminación de residuos y lista europea de residuos*. Capítulo 17 de la lista Europea de Residuos. Anejo 2. BOE, núm. 43 (ref.: BOE-A-2002-3285)).

De acuerdo con la Instrucción EHE-08 podemos clasificar nuestros áridos de construcción y demolición como una mezcla de AF-0/4-T-R con AG-4/16-T-R siendo la nomenclatura del material granular del siguiente formato:

GR-d/D-IL-N, dónde:

GR= hace referencia al grupo de árido: fino (AF) o grueso (AG)
d/D= fracción granulométrica
IL= forma de presentación, por ejemplo triturado (T)
N= naturaleza: calizo (C) o reciclado (R)



Figura 9.1. Partimos de una porción de residuos de construcción y demolición procesados en una planta.



Figura 9.2. Cuarteamos la muestra para dividir dicha muestra en porciones representativas y con el peso necesario.



Figura 9.3. Pesamos y dividimos en sacos de unos aproximadamente 5 kg. Seleccionamos una cantidad significativa de cada saco para realizar los ensayos granulométricos para comparar la relación granulométrica con la tierra.

Figura 9. Preparación de áridos reciclados

4.3. Tipos de mezclas y dosificaciones

En este apartado se muestra de manera esquemática el número y el tipo de ensayos realizados (Tabla 3) con el objetivo de establecer la mezcla idónea que sirva como revestimiento aplicada con la técnica de Tierra Proyectada®. Todos los ensayos de laboratorio han sido realizados en el Laboratorio de Materiales de Construcción del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada, situada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación.

Ensayos realizados aplicados a:

- Tierra (T)
- Áridos reciclados (AR) procedentes de Residuos de construcción y demolición (RCDs)
- Tierra + Residuos de construcción y demolición (T + AR)
- Tierra + Residuos de construcción y demolición + Cal + Cemento (T + AR + C_a + C_e)

Tabla 3. Clasificación de ensayos en las diferentes situaciones a las que se exponen los diferentes materiales o mezclas.

	T	RCDs	T + AR	T+AR+Ca+Ce
Nº de ensayos				
Granulometría	4	2	2	-
H. Higroscópica	1	2	2	-
Límite Líquido	4	-	-	-
Límite Plástico	4	-	-	-
Proctor Normal	8	-	6	-
Resistencia a compresión Simple	4	-	12 (*)	12 (*)
Cámara carbonatación acelerada	-	-	-	11
Técnica Proyección	-	-	-	2
(*) Ensayos realizados con probetas con diferentes dosificaciones				

(*)DOSIFICACIONES : ENSAYOS RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE						
T + AR						
Probeta	R_15	R_25	R_45	R_65	R_75	R_90
peso tierra	2550	2250	1650	1050	750	300
peso RCD	450	750	1350	1950	2250	1700
% RCD	15	25	45	65	75	90
% agua añadida	10 - 11 % (300-330 ml)					
masa total	3000 g					
R_20 (T + AR)		R_25 (T + AR)				
Probeta	1	2	1	2	3	4
peso tierra	2400	2400	2250	2250	2250	2250
peso RCD	600	600	750	750	750	750
% RCD	20	20	25	25	25	25
% agua añadida	8 - 8,33 % (240-250 ml)					
masa total	3000 g					
T + AR + Ca + Ce						
Probeta	C_01	C_02	C_03	C_04	C_05	C_06
peso tierra	2250	2250	2250	2250	2250	2250
peso RCD	750	750	750	750	750	750
% RCD	25	25	25	25	25	25
peso cal	240	240	240	240	240	240
peso cemento	30	30	30	30	30	30
% agua añadida	10 - 11 % (300-330 ml)			8-10% (240-250 ml)		
masa total	3295 g					
Probeta	C_07	C_08	C_09	C_10	C_11	C_12
peso tierra	2250	2250	2250	2250	2250	2250
peso RCD	750	750	750	750	750	750
% RCD	25	25	25	25	25	25
peso cal	240	240	240	240	240	240
peso cemento	30	30	30	30	30	30
% agua añadida	8 - 8,33% (240-250 ml)					
masa total	3295 g					

4.4. Laboratorio

_ Preparación de muestras para ensayos de suelos. UNE 103 100: 1995.

En un principio, centramos toda nuestra atención en enumerar y poner nombre a cada muestra para identificarlas con el tipo de ensayo. Secamos en estufa a no más de 60° con ventilación forzada. Seguidamente golpeamos con un mazo de goma para romper los terrones formados. Posteriormente tamizamos el terreno con el tamiz 10 UNE, debido a las limitaciones de la maquinaria de proyectar. Dividimos en sacos de 5 kg que servirán de muestras para la realización de diversos ensayos.

_ Determinación de la humedad de un suelo mediante secado de estufa. UNE 103 300: 1993

Se define la humedad en esta norma como el cociente, expresado en tanto por ciento, entre la masa de agua que pierde el suelo al secarlo y la masa del suelo seco, manteniendo la muestra en una estufa a una temperatura entre 105°C y 115°C, hasta tener una masa constante de la misma.

Para ello seleccionaremos una muestra representativa de suelo húmedo según las especificaciones indicadas en cada ensayo. Si no se indica cantidad, seguiremos este gráfico:

Tamaño máximo de partícula Tamiz según Norma UNE 7-050	Masa mínima de muestra g
400 µm	30
5,0 mm	300
12,50 mm	900
25,0 mm	1 500
50,0 mm	3 000
80,0 mm	5 000
100,0 mm	7 000

En suelos que contienen yeso u otros minerales que tienen agua de hidratación fácilmente eliminable o en suelos que contienen materia orgánica en cantidad significativa, no se debe emplear una temperatura superior a 60°C.

El resultado del ensayo se expresa en tanto por ciento, con una cifra decimal, y se determina mediante la expresión:

$$W = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \cdot 100$$

Dónde: M₁ = tara del recipiente

M₂ = tara + peso húmedo de la muestra

$$M_3 = \text{tara} + \text{peso seco de la muestra}$$
$$W = \text{Humedad (\%)}$$

El tiempo necesario para realizar el ensayo normalmente suele ser suficiente con 18 horas para llegar a masa constante, aunque depende del tipo de suelo y del tamaño de la muestra.

_ Determinación de la humedad higroscópica

Es la capacidad que tiene un suelo para retener agua en sus poros. Para su cálculo pesamos una muestra de suelo secada al aire (Figura 10.4) y pesamos la misma una vez secada en estufa a una temperatura entre 105°C y 115°C, hasta masa constante (Figura 10.5).

$$H = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$$

Dónde: M_1 = peso secado al aire de la muestra
 M_2 = peso seco de la muestra
H = Humedad (%)

4.4.1. Físicos

_ Descripción y clasificación de suelos. Análisis granulométrico de suelos por tamizado. UNE 103101:1995.

La necesidad de conocer un tipo de suelo ante su complejidad compositiva y su comportamiento a diferentes situaciones climáticas hace que clasifiquemos el suelo en cuatro grandes grupos en función de su granulometría (recogidos en diferentes normas: UNE, DIN, ASTM, etc.):

Gravas (partículas mayores de 2 mm): se aprecian a simple vista y no se apelmazan aunque estén húmedos. Arenas (entre 2 mm y 0,06 mm): son partículas visibles, en general no plásticas que se apelmazan si se encuentran húmedos debido a las tensiones capilares.

Limos (entre 0,06 mm y 0,002 mm): son partículas que no podemos apreciar con el ojo humano, normalmente algo plásticos. Se secan rápido y tienen poca adherencia (no se pegan en los dedos).

Arcillas (partículas menores de 0,002 mm): la capacidad de retener agua es bastante grande, aumentan su volumen con facilidad, se secan lentamente y se pegan en los dedos.

Se han realizado 4 ensayos granulométricos de suelos por tamizado, según UNE 103 101:1995. Se parte de un acopio de tierra y mediante el cuarteo se han separado porciones de unos 5 kg aproximadamente que se han usado como muestras diferentes para realizar los ensayos, llamadas M-3, M-4, M-5 y M-6. Finalmente, el suelo se ha clasificado mediante el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (USCS)

Seleccionamos una cantidad significativa de cada saco y la pesamos (Figura 10.1), para seguidamente hacer el ensayo granulométrico de las muestras M3, M4, M5 y M6.

Para el tamizado hemos elegido una secuencia donde las aberturas de los tamices disminuyen a razón de 0,5 aproximadamente. Los tamices UNE escogidos son: 40, 25, 20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.32, 0.16, 0.088 (mm). En nuestro caso hemos tamizado con un agitador mecánico (Figura 10.2) durante 30 min y también manualmente. Pesamos la cantidad de tierra retenida en cada tamiz con el objetivo de dibujar la curva granulométrica de cada muestra (Figura 10.3). Para una mejor clasificación del terreno nos apoyaremos en dos coeficientes: el coeficiente de uniformidad (C_u), que es la relación entre el tamaño de abertura correspondiente al tamiz por el que pasa un 60% y el correspondiente al tamiz por el que pasa el 10%. Si el coeficiente es menor de 5 tendremos una granulometría uniforme, mientras que si ronda entre un valor de 5 y 20 varía de poco a medianamente uniforme y si es mayor de 20 será un suelo bien graduado. El coeficiente de curvatura (C_c) nos ayuda a establecer si el material está bien o mal graduado granulométricamente hablando.



Figura 10. Análisis granulométrico por tamizado y determinación de humedad higroscópica

Determinación del Límite Líquido (LL o WLL) de un suelo por el método del aparato de Casagrande. UNE 103 103:1994

Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento para determinar el límite líquido de un suelo mediante la utilización del aparato de Casagrande (Figura 11.1).

Se define el límite líquido, a los efectos de esta norma, como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado con un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de 2 golpes por segundo.

Se rellena la cuchara con una porción de suelo amasado, de manera que el material colocado en nuestro recipiente no tenga más de 10 mm de espesor. Hacemos un surco en la parte central con el acanalador de Casagrande. Después de realizar el surco, se coloca inmediatamente la cuchara del aparato, comprobando que no queden restos de material en la cara inferior de aquella. Se cuentan los golpes necesarios para que las paredes del surco se unan por el fondo del mismo en una distancia de 13 mm.

Si el número de golpes está comprendido entre 35 y 15, ambos inclusive, se toma una porción entre 10 g y 15 g del suelo próximo a las paredes del surco, en la parte donde se cerró, y se determina su humedad según la Norma UNE 103-300 (Figura 11.2). Si el número de golpes no está comprendido entre 35 y 15, la determinación no es válida, se repetiría hasta obtener un valor entre 25 y 15 golpes y otro entre 35 y 25 golpes. Si después de varios ensayos las determinaciones se quedan siempre por debajo de 25 golpes debemos considerar el suelo como no plástico.



Figura 11. Determinación del Límite Líquido y del Límite Plástico de una muestra

– *Determinación del Límite Plástico (LP o WPL) de un suelo. UNE 103 104:1993*

Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de unos 3 mm de diámetro, rodando la muestra de suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa. Los cilindros no deben romperse a pedazos pero si empezar a resquebrajarse.

Se parte de una muestra aproximada de unos 20 g de suelo fino, es decir, tamizado por el tamiz UNE 0,40. Mezclamos con agua destilada hasta formar una bola que al aplastarla no se quede pegada a los dedos. Con trozos de muestra, formamos elipsoides que haciéndolos rodar con los dedos de las manos y contra una superficie lisa consigamos formar cilindros. Si al llegar el cilindro a un diámetro de 3 mm no se ha deshecho, se repite el proceso (Figura 11.4).

Una vez realizado los ensayos, secamos en el horno las porciones de las muestras y los cilindros para determinar la humedad de las muestras. Guardamos las muestras en una vitrina que permita conservar las condiciones de humedad necesarias para que las muestras no absorban humedad del ambiente y permanezcan secas (Figura 11.5).

– *Ensayo de compactación. Proctor normal. UNE 103 500:1994*

Preparación de la muestra para realizar el ensayo Proctor Normal según la norma UNE 103 500:1994. El objetivo del ensayo es determinar la humedad óptima a la que un suelo adquiere su densidad seca máxima bajo una energía de compactación determinada. Realizamos los ensayos con un apisonador automático (Figura 12.1) que nos garantiza la correcta compactación y distribución de la energía en el suelo. Para ello se utiliza un molde cilíndrico normalizado de una capacidad de 1 decímetro cúbico



Figura 12. Ensayo de compactación. Proctor Normal.

que al rellenarlo en 3 capas de material compactamos con una maza estandarizada de 2,5 kg que se deja caer libremente una altura de 30,5 cm. Previamente tamizamos la muestra por el tamiz UNE 20 mm y humedecemos con diferentes porcentajes de agua. De esta manera podremos apreciar con mayor facilidad parámetros como la resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad de la tierra.

Para el proceso de compactación se efectúan un total de 78 golpes en 3 capas, que deben tener aproximadamente la misma altura de tierra, 26 golpes por capa (Figura 12.2). Seguidamente, enrasamos el molde y extraemos una muestra representativa de cada probeta (parte central) para calcular la humedad y densidad de cada muestra (Figura 12.3).

Procederemos al pesado y secado de las muestras en horno para conocer las densidades y humedades (Figura 12.4). Después del secado, representaremos en el grafico los datos obtenidos y obtendremos los resultados buscados. En la curva dibujada, las coordenadas del máximo punto definen la humedad óptima necesaria para obtener la densidad máxima con este tipo de suelo.

4.4.2. Envejecimiento



Figura 13. Ensayos de envejecimiento: cámara de carbonatación acelerada y test de fenolftaleína.

_Ensayo en cámara de carbonatación acelerada.

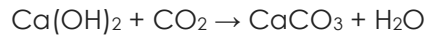
Se ha llevado a cabo en una cámara climática (Figura 13.1) manteniendo la temperatura constante en torno a los 20°C e inyectando en esta cámara bombonas de CO₂, con un flujo constante entre valores del 2-3%. En estas condiciones se consigue acelerar el proceso de carbonatación.

_Test de fenolftaleína. Determinación de la resistencia a la carbonatación. UNE EN 13295:2005.

Para determinar la profundidad a la que ha carbonatado una muestra usamos el test de fenolftaleína o test colorimétrico. Se llama de esta manera porque usamos una disolución del 1% de fenolftaleína en

etanol para rociar la muestra y al ponerse de color rosa (Figura 13.2) detectar qué zonas no han carbonatado. Las zonas con un pH mayor de 9, es decir ricas en cal, se vuelven rojizas-rosas, mientras que las zonas que ya han carbonatado o poseen un pH inferior a 9 permanecen con su color de origen.

Esta prueba es consecuencia de la reacción de carbonatación:



Donde el hidróxido de calcio reacciona con el dióxido de carbono presente en la atmosfera formando carbonato cálcico y agua. Es por este motivo que a medida que profundicemos en la muestra mayor tonalidad de rosa presentará indicando que apenas ha tenido contacto con el dióxido de carbono no produciéndose la carbonatación. Para acelerar el proceso se pueden usar las cámaras de carbonatación acelerada donde las muestras están expuestas a contenidos mayores de dióxido de carbono.

4.4.3. Mecánicos

Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo. UNE 103 400:1993.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de Proctor Normal elaboramos probetas con las condiciones óptimas de humedad y máxima densidad (Figura 14.1). Una vez secadas las probetas se procede a efectuar el ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo según la norma UNE 103 400:1993. La velocidad de carga, por posición, ha sido de 1,5 mm/min (Figura 14.2). El módulo de adquisición de datos registro los valores de carga y desplazamiento en el tiempo, obteniendo un archivo de texto que posteriormente servirá para ser tratado y analizado en una hoja de cálculo.



Figura 14. Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo.

4.4.4. Proyecciones

4.4.4.1. Tipo de soporte

Disponemos de dos muros construidos en la zona exterior de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Uno de ellos es de bloque de hormigón prefabricado ($e = 20$ cm) para realizar pruebas previas. El segundo es un muro (Figura 15) aparejado compuesto por dos capas de ladrillo hueco doble separado por una cámara de aire de unos 7 cm de espesor aproximadamente con aislante del tipo poliestireno expandido de alta densidad ($e=5$ cm), recreando el cerramiento de un edificio actual que debe cumplir con las condiciones de estanqueidad, aislamiento térmico, protección térmica, acústica y solar, etc.

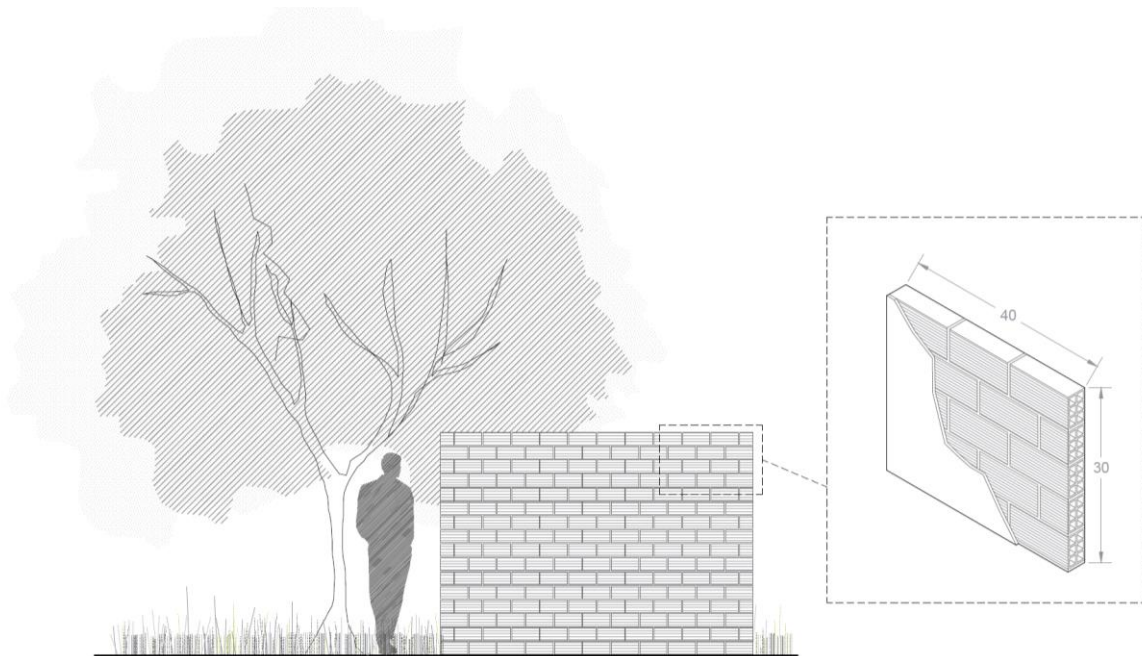


Figura 15. Elaboración propia. Esquema de soporte para extracción de una muestra a estudiar.

Una vez proyectado el material se ha previsto obtener muestras de la Tierra Proyecta, tanto con AR como tierra sola para para su estudio y comparación con las probetas compactadas.

4.4.4.2. Tipo de maquinaria para la aplicación de las mezclas en el soporte

Se ha utilizado una maquinaria de una escala adecuada a la superficie a proyectar, teniendo en cuenta que no se trata del revestimiento total de un edificio, sino de ensayos con una suficiente envergadura que sean trasladables en un futuro cercano a un proyecto real.



Se trata de una revocadora para proyección de morteros en techos y paredes (Figura 16.1). Es una herramienta que se utiliza como una pala, la cual está compuesta por una pistola con una tolva de unos 2,8 litros con 4 salidas, conectada a un compresor de pistón de aluminio. En nuestro caso es un compresor de correas de gomas superior (Figura 16.2), de uso profesional avanzado, con una potencia de 2 a 3 CV de la marca PUSKA modelo AL 20/50 RII con un depósito de 50 litros, presión de trabajo idónea entre 6-8 bares (máx. 10/11 bares) y unas 1075 rpm. Con la utilización de esta maquinaria se consiguen rendimientos de 60 m²/hora con un espesor aproximado de 1 cm.

Figura 16. Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE ENSAYOS

5.1 Ensayos muestra patrón, Tierra

5.1.1 Distribución Granulométrica (UNE 103 400:1993)

Hemos realizado ensayos granulométricos de 4 muestras de tierra mezcla del Horizonte B y del techo del Horizonte C correspondiente al suelo edáfico de la Formación Alhambra cuyos resultados se presentan a continuación:

MUESTRA M-03: De acuerdo con los porcentajes de material obtenidos el suelo es una grava medianamente graduada con arena (GW con arena), ya que más del 50% del material pasa el tamiz 5 mm y hay abundante porcentaje de arenas, además, de la curva granulométrica se obtuvo un coeficiente de uniformidad $C_u= 15.15$ y un coeficiente de curvatura $C_c=1.75$, indicando así que C_u es mayor de 4 para gravas y C_c pertenece al rango entre 1 y 3 para suelos bien graduados.

MUESTRA M-04: Es una grava bien graduada con arena (GW con arena), ya que más del 50% del material pasa el tamiz 5 mm y hay abundante porcentaje de arenas, además, de la curva granulométrica se obtuvo un coeficiente de uniformidad igual a 18.95 y un coeficiente de curvatura de 0.20, indicando así que C_u es mayor de 4 para gravas y C_c pertenece al rango entre 1 y 3 para suelos bien graduados.

MUESTRA M-05: De acuerdo con los porcentajes de material obtenidos el suelo es una grava medianamente graduada con arena (GW con arena), acercándose a bien graduada (valor superior a 20). De la curva granulométrica se obtuvo un coeficiente de uniformidad igual a 17.77 y un coeficiente de curvatura de 0.71, indicando así que C_u es mayor de 4 para gravas y C_c pertenece al rango entre 1 y 3 para suelos bien graduados.

MUESTRA M-06: De acuerdo con los porcentajes de material obtenidos el suelo es una grava medianamente graduada con arena (GW con arena). De la curva granulométrica se obtuvo un coeficiente de uniformidad igual a 17.0 y un coeficiente de curvatura de 0.68, indicando así que C_u es mayor de 4 para gravas y C_c pertenece al rango entre 1 y 3 para suelos bien graduados.

Podemos decir que nuestra tierra presenta un porcentaje de gravas (fracción gruesa) que oscila entre el 2,81 y 8,66 % (tamaños superiores al tamiz 10 mm UNE). El porcentaje de fracción fina oscila entre el 6,41 y el 9,74 % (tamaños inferiores al tamiz 200 o 0,088 mm UNE). El coeficiente de uniformidad varía entre 15,15 y 18,75 indicando que es medianamente uniforme. En cuanto al coeficiente de curvatura al estar comprendido entre 1 y 3 podemos decir que es un suelo bien gradado, valores entre 0,2 y 1,75.

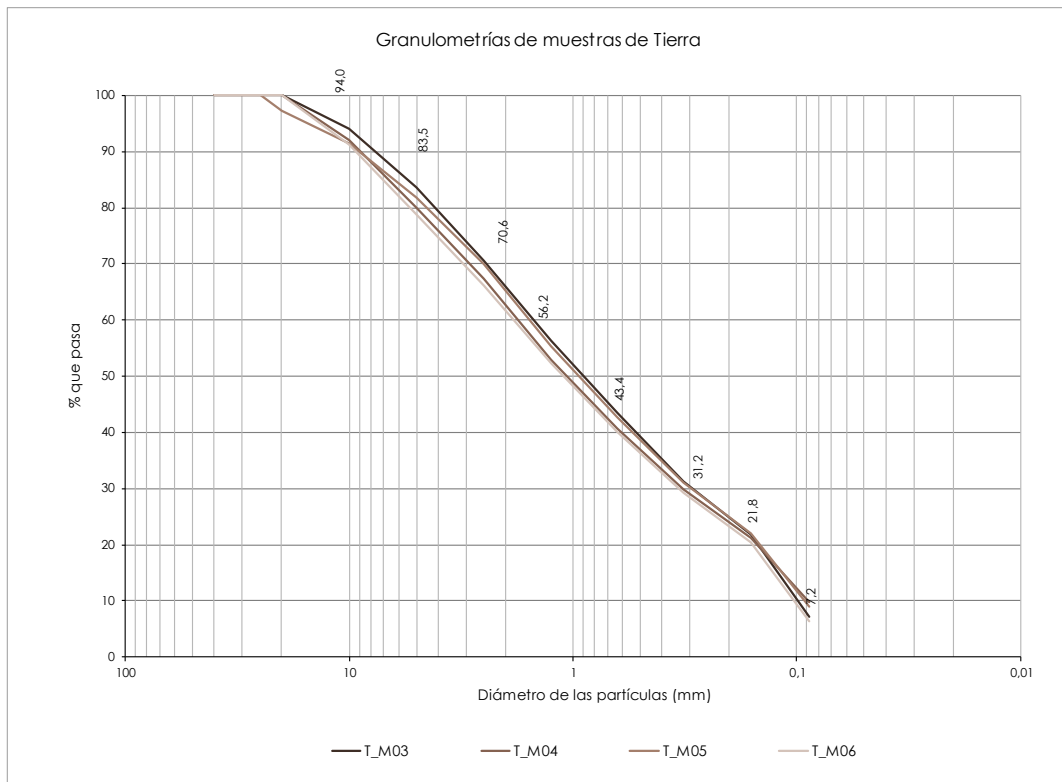


Figura 17. Superposición de granulometrías solo Tierra.

Finalmente superponemos todos los resultados de los ensayos granulométricos (Figura 17) para comparar la distribución de los tamaños de las partículas y los tantos por ciento de suelo que pasan por los diferentes tamices empleados. Podemos observar como las curvas granulométricas prácticamente se superponen y existe muy poca dispersión entre ambas. Esto quiere decir que la tierra que vamos a utilizar se moverá en torno a estos valores y que a pesar de ser muestras diferentes estamos trabajando con una tierra homogénea. Podemos concluir diciendo que el suelo es uniforme y medianamente graduado, lo que ayudará a la compactación.

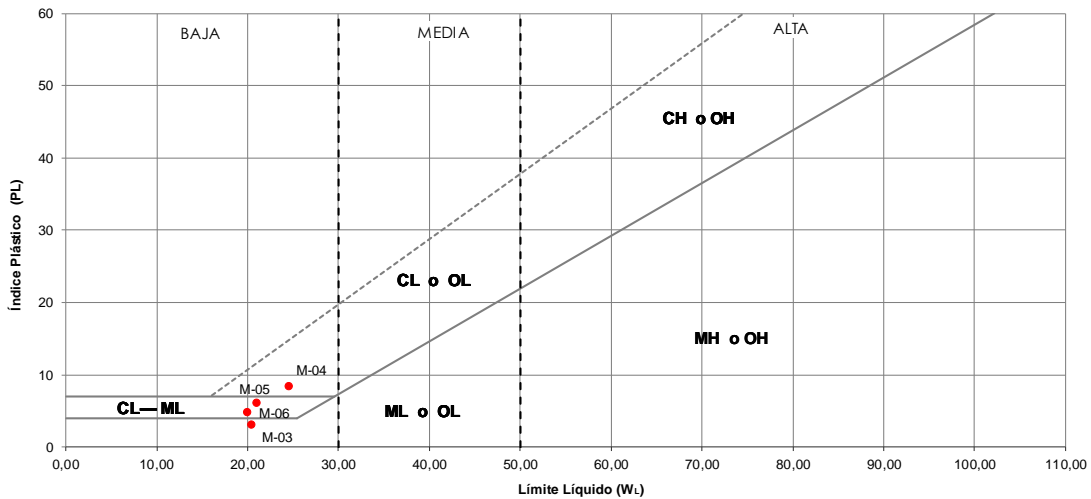
5.1.2 Límites de Atterberg, Límite Líquido (UNE 103 103:1994) y Límite Plástico (UNE 103 104:1993)

Se ha procedido a la determinación de los límites de Atterberg sobre las partículas finas (pasan por el tamiz nº200 o 0,08 mm UNE) de cuatro muestras con las que también se han realizado las granulometrías, pertenecientes a la misma zona de extracción, obteniendo como resultado limos y arcillas inorgánicas de baja-media compresibilidad y plasticidad, respectivamente, es decir CL-ML, ML o CL, con LL entre 19,93 y 24,46% y LP entre 14,78-17,4%.

Límite Líquido	Índice de Plasticidad	Muestra
LL	IP	Nombre
20,40	3,17	M-03
24,46	8,49	M-04
20,97	6,19	M-05
19,93	4,93	M-06

5.1.3 Clasificación del suelo

Hemos clasificado el suelo en función de los resultados obtenidos en los análisis por tamizado y en los Límites de Atterberg. Apreciamos que los valores se encuentran en torno a una misma posición. Nos encontramos ante un suelo de partículas gruesas ya que pasa un porcentaje comprendido entre el 0-50 % por el tamiz 200. Al pasar un porcentaje comprendido entre el 5 y el 12 % por el tamiz 200 nos encontramos en el caso frontera de simbología doble de acuerdo con las características granulométricas y de plasticidad. (Por el tamiz 0,088 pasa entre un 9-10 % y por el tamiz 5 pasa un 80 % en los cuatro casos). Nos encontramos ante arenas con gravas (tipo GC o GM), pudiendo ser SC (arenas arcillosas) o SM (arenas limosas).



Comparando nuestros resultados con las muestras de la Formación Alhambra (Fuentes, 2010) podemos observar como una de las muestras de tierra posee materia orgánica visible. En cuanto a la distribución granulométrica tiene mayor porcentaje de grava-gravilla. Estamos ante un suelo residual y no la Formación Alhambra.

5.1.4 Ensayo Compactación Proctor Normal (UNE 103 500:1994)

Determinación de la densidad máxima y humedad óptima de la tierra procedente de la formación Alhambra a través del ensayo de compactación Proctor Normal según la UNE 103 500:1994.

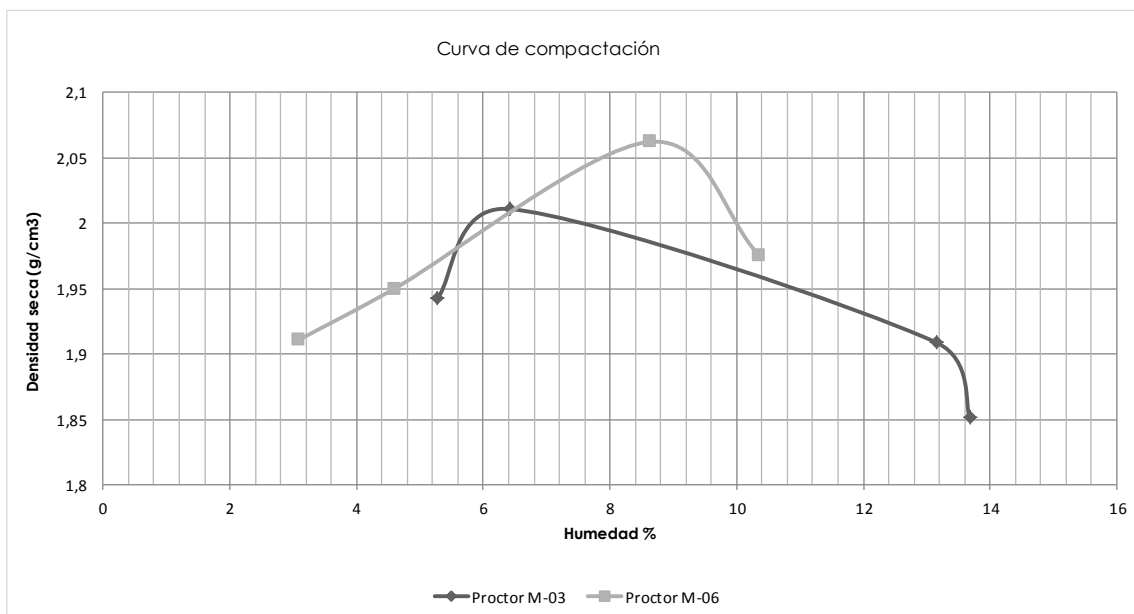


Figura 18. Determinación densidad máxima y humedad óptima a partir de curvas de compactación.

A partir de los datos obtenidos en la Figura 18, establecemos como valores óptimos:

$$\begin{aligned} \text{Densidad máxima seca} &= 2,1 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Humedad óptima} &= 8,15 \% \end{aligned}$$

Con estos parámetros elaboramos 4 probetas (Figura 10) solamente de tierra para conocer la resistencia a compresión del terreno mediante el ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo, UNE 103-400-93.

Tabla 4. Comparativa densidad-humedad-resistencia con los datos de la Formación Alhambra (Fuentes, 2010).

	g/cm ³	H %	Mpa	
Proctor Modificado (Fuentes,2010)	2,18	8,1	6,28	
Proctor Normal (Fuentes,2010)	2,06	10,4	3,63	
Proctor Normal (esta investigación)	2,011	9,63	2,01	1,58
Proctor Normal (esta investigación)	2,191	6,67	3,12	4,25

Cabe destacar el cambio notable en la humedad óptima respecto a los ensayos de la Formación Alhambra (Fuentes, 2010), reiterando la menor presencia de arcillas en nuestra tierra y por tanto un mayor contenido de material residual. Nuestra tierra es un suelo más superficial que la Formación Alhambra.

5.1.5 Ensayo Resistencia a Compresión Simple (UNE 103 400:1993)

Las muestras ensayadas arrojan valores de resistencia a compresión simple entre 1,58 MPa y 4,25 MPa Como valor característico en torno a 2,92 MPa. A continuación en la Figura 19 se muestran las gráficas Tensión/Tiempo obtenidas para las cuatro muestras ensayadas.

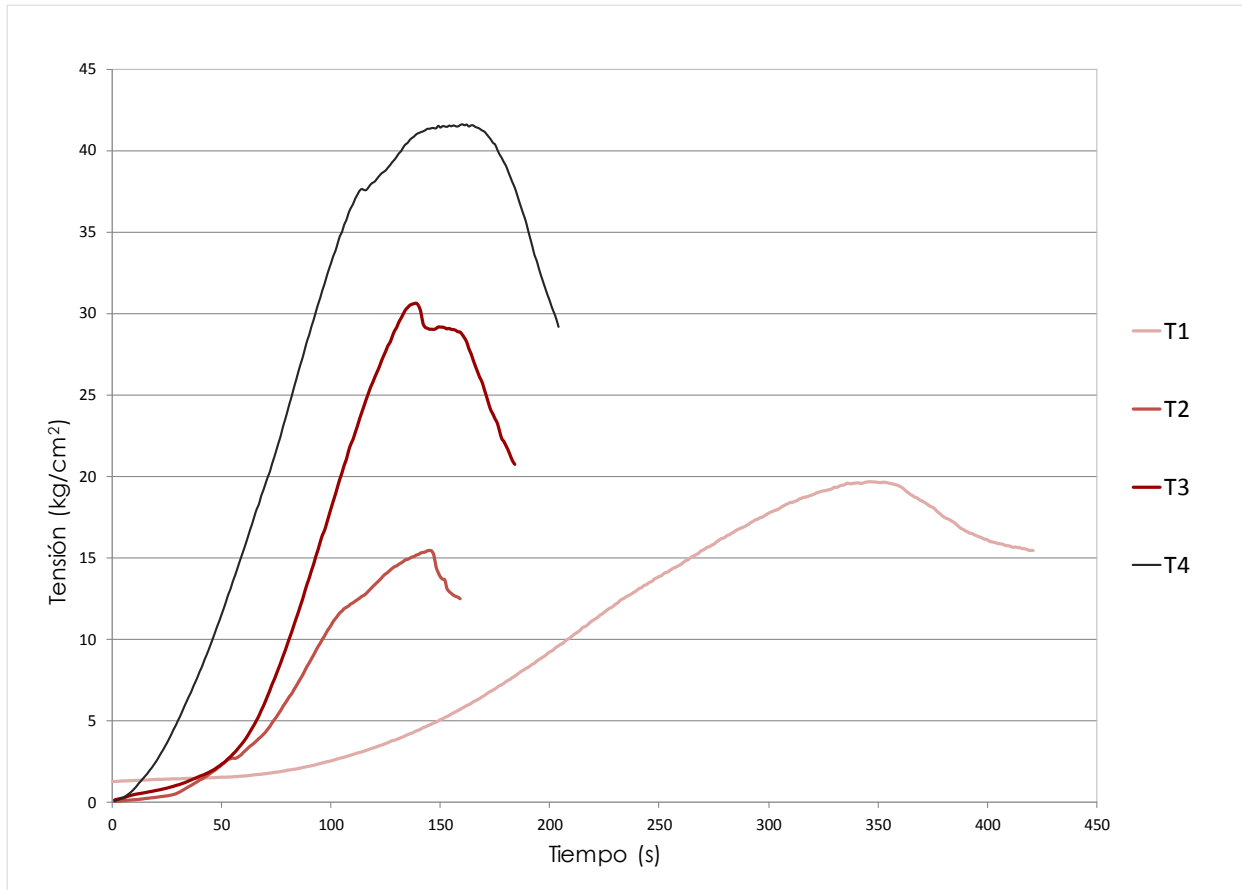


Figura 19. Ensayos a rotura a compresión simple solo Tierra.

5.2 Ensayos con Áridos Reciclados (AR).



Figura 20. Ensayos granulométricos AR.

Del mismo modo se han analizado las propiedades de los AR para entender la compatibilidad granulométrica con la tierra y las posibles sustituciones de fracciones de partículas. Para ello analizamos las características granulométricas de los AR y se determina la humedad higroscópica que presenta (Figura 20.2).

Para el tamizado se han elegido una secuencia donde las aberturas de los tamices disminuyen a razón de 0,5 aproximadamente. Los tamices UNE escogidos son: 40, 25, 20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.32, 0.16, 0.088. En nuestro caso disponemos de un aparato agitador que ayuda al tamizado de la muestra (Figura 20.1).

Se pesó la cantidad de AR retenida en cada tamiz con el objetivo de dibujar la curva granulométrica de cada muestra. Una vez obtenida dichas pesadas se dibujó la curva granulométrica. La humedad higroscópica se calculó a partir de una muestra representativa de fracción inferior a 2 mm.

Tomamos 2 muestras representativas, previamente cuarteadas, llamadas RCD-01 y RCD-02.

MUESTRA RCD-01 y RCD-02: De acuerdo con los porcentajes de material obtenidos podemos observar la ausencia de partículas de diámetro 10 mm, y la escasa existencia de partículas de 5 mm, solamente un porcentaje comprendido entre un 0,06% y un 0,13% del total de muestra. Las fracciones más representativas de la muestra se encuentran entre los tamices 2,5 y 0,32 debido al mayor porcentaje de áridos retenidos.

Comparando las distribuciones granulométricas (Figura 21) se pretende compatibilizar ambos materiales generando una correcta distribución de tamaños de partículas que nos proporcione una mezcla homogénea y con una buena graduación, que ayudará a la mejor compactación.

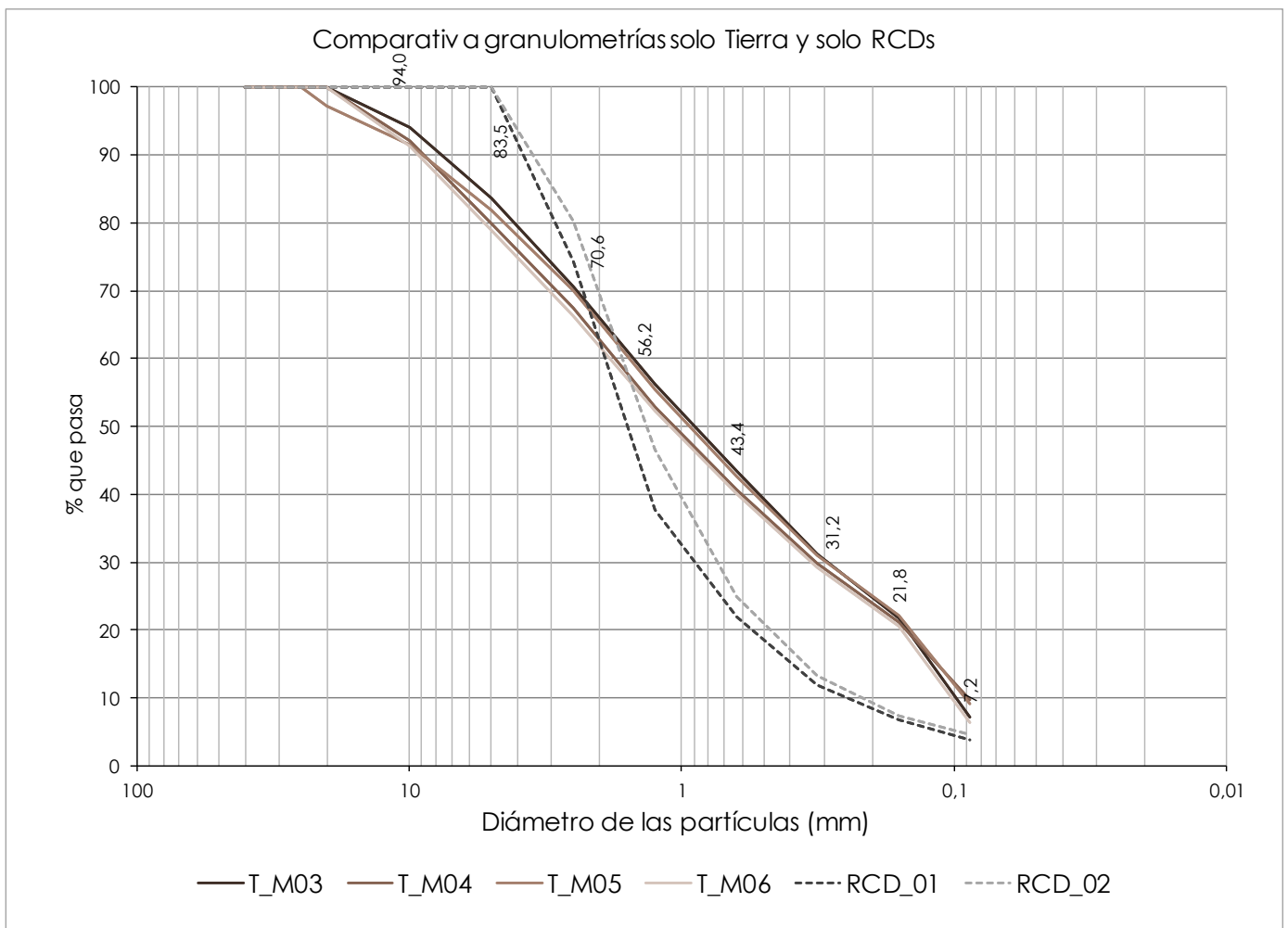


Figura 21. Comparativa granulométricas Tierra-AR.

5.3 Ensayos Tierra + AR

Preparación de la muestra para realizar el ensayo Proctor Normal según la norma UNE 103 500:1994 (Figura 22.1).

Se han elaborado 6 probetas con diferente relación Tierra-AR, con una masa total de 3 kg por probeta (Figura 22.2). Por otro lado, se han llevado a cabo 2 granulometrías: la primera con un 25% de AR y la segunda con un 45% de AR, y calcularemos la humedad higroscópica de cada una.

Elaboramos probetas con diferentes porcentajes de AR para calcular las capacidades mecánicas de ésta nueva mezcla. Mantenemos la humedad de las probetas entre un 8 y 10 % para hacer más efectiva su compactación. Secamos en la estufa las probetas (Figura 22.3).

MUESTRA RCD-25: podemos observar la ausencia de partículas de diámetro 10 mm, se ha tamizado la tierra para poder usar la mezcla como material en máquinas de proyección. Se aprecia un aumento en los porcentajes retenidos en los tamices debido a la nueva mezcla (tierra + áridos reciclados) y a la mayor diversidad en tamaños granulométricos.

MUESTRA RCD-45: ausencia de partículas de diámetro 10 mm, se ha tamizado la tierra para poder usar la mezcla como material en máquinas de proyección. Podemos apreciar un aumento en los porcentajes retenidos en los tamices debido a la nueva mezcla (tierra + áridos reciclados) y a la mayor diversidad en tamaños granulométricos.



Figura 22. Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo (Tierra + AR).

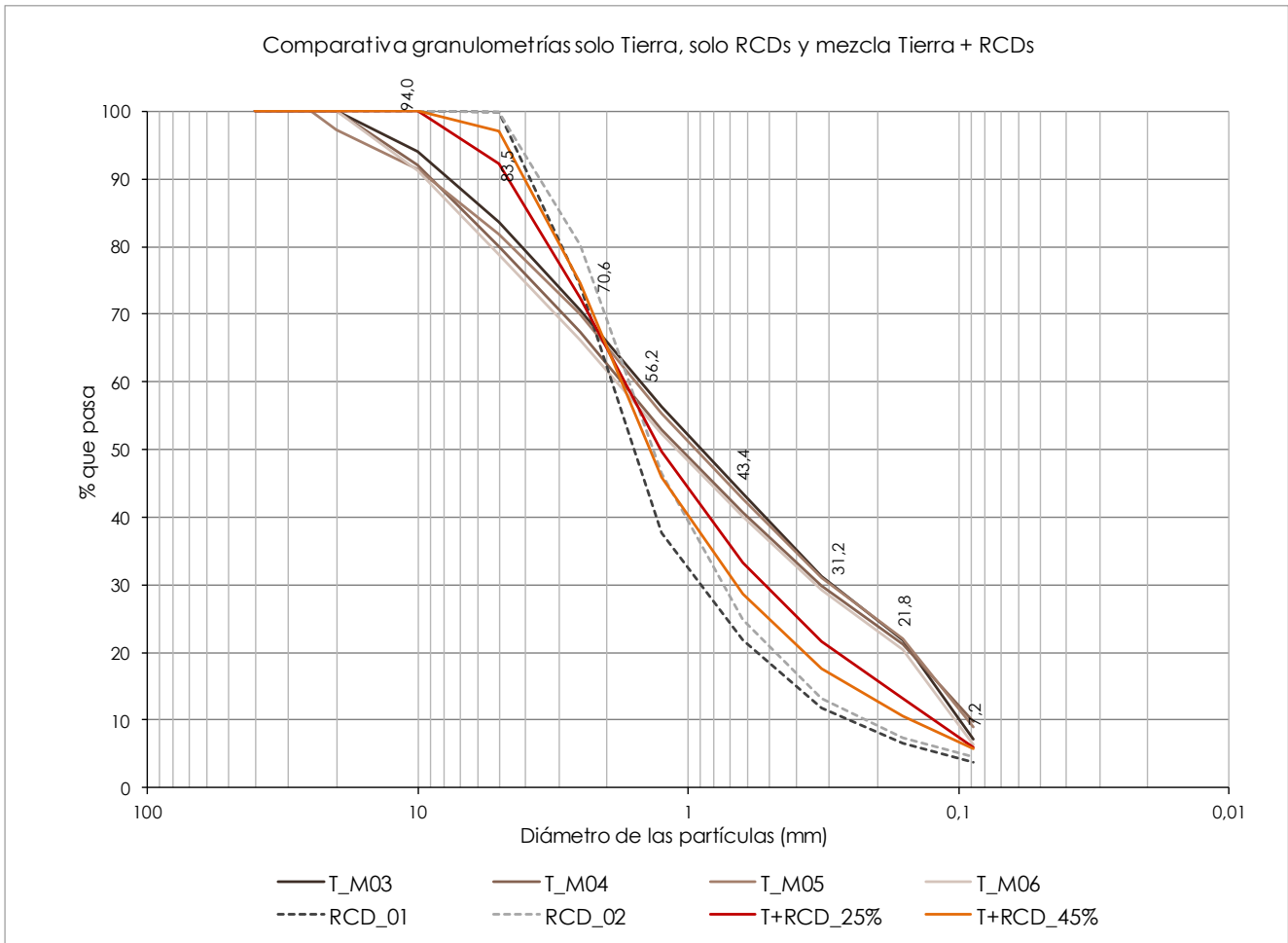


Figura 23. Comparativa de curvas granulométricas.

Se procedió al pesado y secado de las probetas en horno para conocer las densidades y humedades. Una vez secadas las probetas se realizó el ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo según la norma UNE 103 400:1993 (Figura 22.4).

Tiene por objetivo averiguar qué relación Tierra-AR proporciona mayor resistencia (Figura 23), en este caso bajo esfuerzos de compresión. Para ello se establecieron unas dosificaciones con porcentajes fáciles de trasladar a grandes mezclas, pensando en un posible futuro industrial, donde las proporciones no se miden con tanta exactitud.

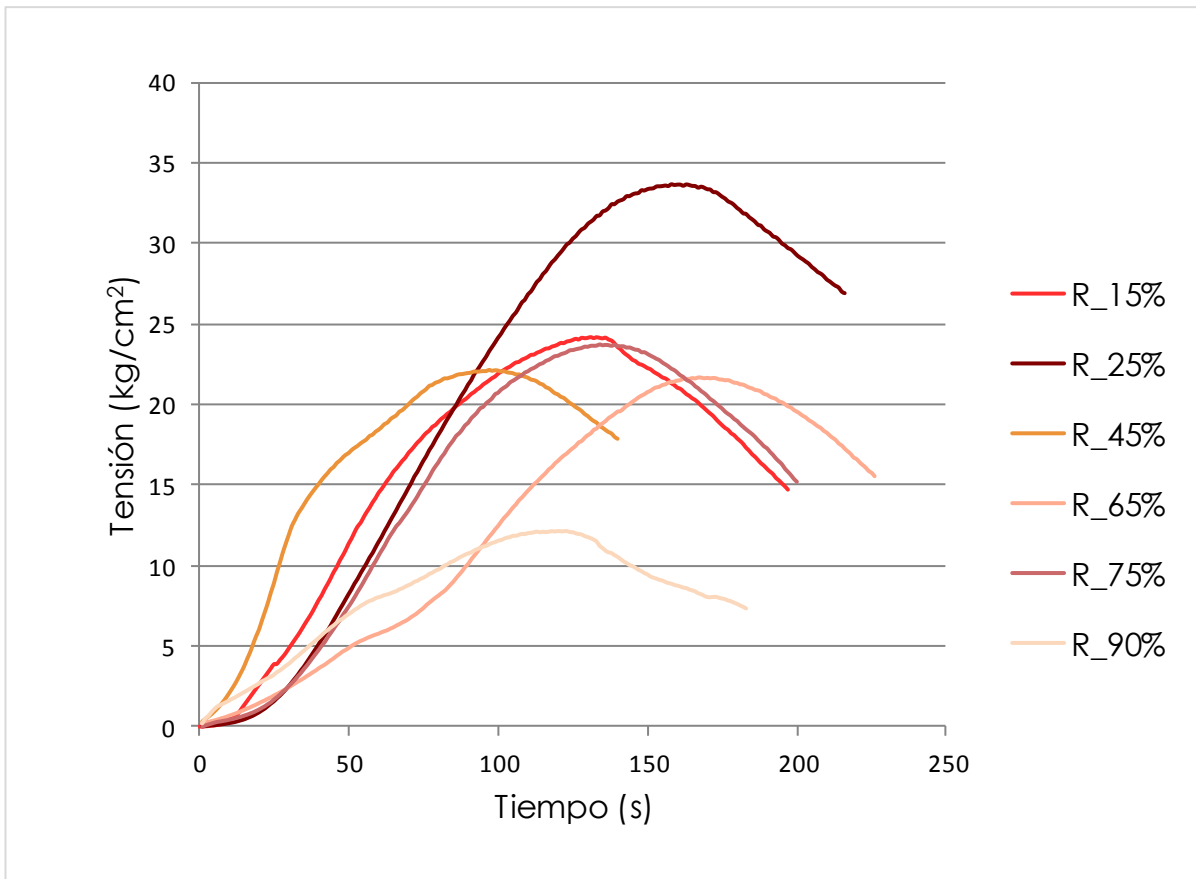


Figura 24. Comparativa Tensión-Tiempo de resistencias a compresión simple de probetas con diferentes porcentajes de áridos reciclados.

Tras realizar el ensayo de rotura a compresión simple e a 6 probetas con diferentes porcentajes de cantidades residuos de construcción y demolición, se puede observar que con el 15 y el 25 % de AR se alcanzó mayor resistencia a compresión siendo ésta de 2,32 y 3,23 MPa, respectivamente (Figura 24).

Para comprobar que la mejor dosificación corresponde con la efectuada con el 25% de AR provenientes de RCD se elaboraron 4 probetas más con esta dosificación y 2 con el contenido del 20% en AR.

Nos centramos en los dos ensayos que nos han proporcionado mejores resultados, es decir, el R_15% y el R_25%. Establecemos estas dos líneas como franjas límite de estudio (huso inferior y huso superior). Los resultados deberían posicionarse en la zona entre estas dos líneas de tensión-tiempo.

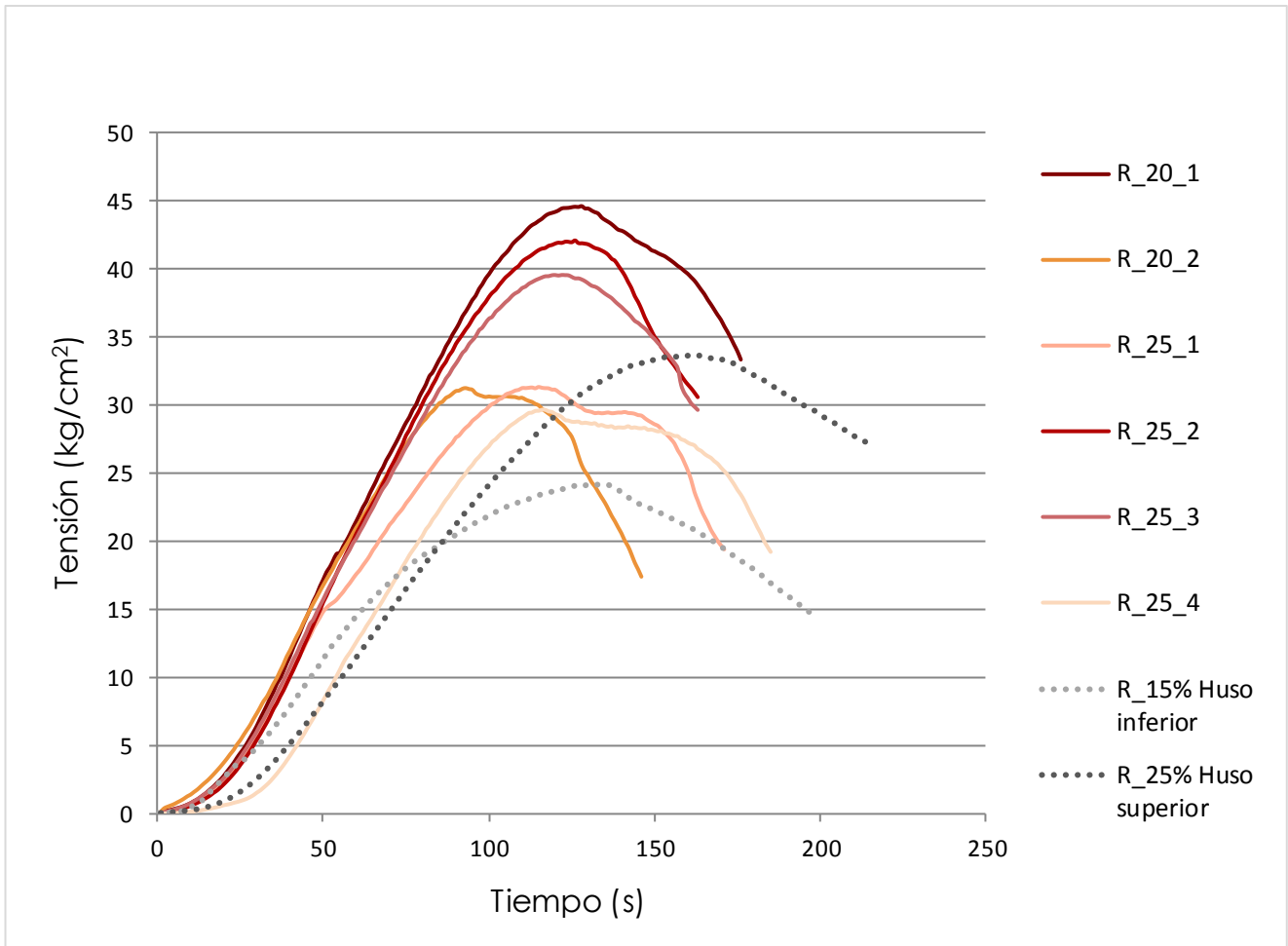


Figura 25. Resistencia a compresión simple de probetas con un porcentaje de 20-25% AR.

Podemos observar en la Figura 25 que los valores obtenidos por las 6 probetas en el ensayo de compresión simple superan los valores establecidos por el huso superior e inferior, máximos y mínimos patrones obtenidos por las probetas anteriormente. Esto es buena señal ya que los máximos alcanzados oscilan entre 2,97 y 4.46 MPa ofreciendo unas mejores resistencias a compresión de lo esperado.

5.4 Ensayos Tierra + AR + Cal + Cemento

A continuación, se han elaborados probetas añadiendo cal y cemento como conglomerantes con la idea de acercarnos a una mezcla final que presente mayor resistencia y durabilidad. Las dosificaciones para todas ellas han sido las mismas variando exclusivamente en el porcentaje de agua añadida:

Tierra	2250 g
RCDs	750 g
Cal	240 g
Cemento	30 g

En un primer momento, hacemos 3 probetas (C_01, C_02 y C_03) añadiéndole de un 10 a un 11 % de agua (300-330 ml) obteniendo los siguientes resultados:

Referencia	Rotura a Compresión S. Mpa	Densidad s. g/cm ³
C_01	1,36	1,914
C_02	1,24	2,045
C_03	1,04	2,064



Figura 26. Elaboración de probetas (Tierra + AR + Cal + Cemento).

C_01 ha carbonatado a la intemperie mientras que C_02 y C_03 en una cámara de carbonatación acelerada durante 7 días. Las resistencias a compresión han sido demasiado bajas, cuestión que no era de esperar. Las densidades secas oscilan en una normalidad en torno a valores obtenidos con anterioridad. Las probetas han roto con normalidad formando al inicio fracturas extensionales y concluyendo con fracturas de cizalla al final como resultado de la compresión continuada. Al rociarle fenolftaleína se aprecia que han

carbonatado completamente en el exterior e internamente 0,5 cm la probeta que hemos dejado a la intemperie y 1,5 cm las dos en cámara de CO₂. Nos hace pensar que los AR han absorbido la mayor parte del agua impidiendo así la hidratación de los componentes hidráulicos, quedando esta parte de los conglomerantes como aporte de finos inertes que conlleva una bajada de resistencias. . Por lo anterior, se decidió realizar un premojado del AR como condicionante necesario para la conformación de las probetas. Se elaboraron 3 más para verificar lo sucedido con un porcentaje de agua añadida comprendido entre el 8-10 % (240-300 ml) y 6 para saber la verdadera resistencia a compresión de la mezcla, con un porcentaje de agua añadida del 8-8,33 % (240-250 ml). Todas ellas se han sometido al ensayo de compresión simple tras pasar 7 días en la cámara de carbonatación acelerada.



Figura 27. Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo (Tierra + AR + Ca + Ce) y comprobación del proceso de carbonatación.

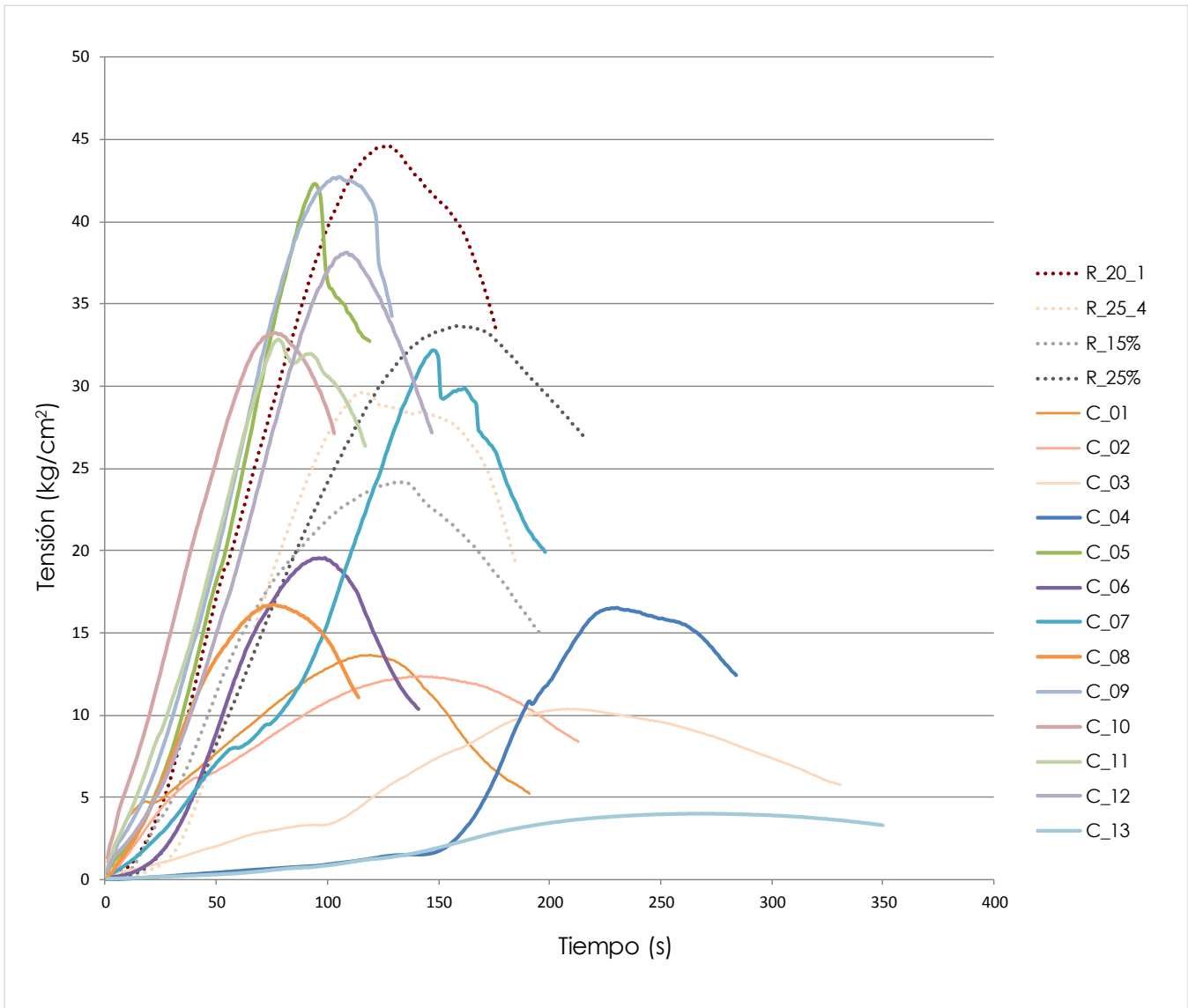


Figura 28. Comparativa rotura a compresión de las diferentes composiciones de probetas con premojado y sin premojado.

Tabla 5. Comparativa de todas las probetas ensayadas a compresión simple en relación a la densidad seca de la misma.

Rotura a Compresión S.		Densidad s.
Referencia	Mpa	g/cm ³
T-1	1,93	1,954
T-2	1,51	2,021
T-3	3	2,031
T-4	4,08	2,029
R_15	2,32	1,914
R_25	3,23	1,926
R_45	2,13	1,967
R_65	2,08	1,972
R_75	2,23	1,969
R_90	1,17	1,953
R_20_1	4,46	2,027
R_20_2	3,12	1,916
R_25_1	3,13	2,053
R_25_2	4,21	2,027

Rotura a Compresión S.		Densidad s.
Referencia	Mpa	g/cm ³
R_25_3	3,96	2,002
R_25_4	2,97	2,006
C_01	1,36	1,914
C_02	1,24	2,045
C_03	1,04	2,064
C_04	1,65	1,96
C_05	4,23	1,882
C_06	1,95	2,014
C_07	3,22	1,898
C_08	1,67	1,979
C_09	4,27	1,902
C_10	3,32	1,885
C_11	3,28	1,876
C_12	3,81	1,889

Finalmente, las probetas tras siete días en cámara de carbonatación se secaron en estufa y fueron sometidas a compresión simple. Los resultados obtenidos varían entre 1,04 y 1,95 MPa para las probetas con AR sin premojar y entre 3,22 y 4.27 MPa para las premojadas, lo que demuestra la necesidad de aportar agua al AR, o al menos humedecerlo de forma previa a cualquier ensayo o puesta en obra. Por otro lado, la humedad presente en las muestras merma la cohesión de las partículas finas arcillosas y/o limosas, por lo que el secado en estufa o al aire (requiere de más tiempo) es fundamental para que este material refleje sus verdaderas resistencias.

5.5. Ensayos Tierra Proyectada® (Tierra + AR + Cal + Cemento)

Para proyectar tierra lo primero que se necesita es una gran cantidad de tierra que se ha tratado y homogeneizado para que el máximo tamaño de partículas sea el correspondiente con el diámetro 10 mm de la serie UNE. Se ha establecido la siguiente dosificación para poder trabajar con una mezcla en una hormigonera.

	Tierra		RCDs	
	%	peso (g.)	%	peso (g.)
Tierra		60000		60000
Árido dolomítico	25	15000		-
Cal NHL 5	10	6000	10	6000
Cemento BL 52,5	1	600	1	600
Agua (a/T)	0,3	18000	0,3	18000
Fluidificante	0,5	300	-	-
RCDs	-	-	25	15000

Tras varios ensayos, finalmente se realizó el revestimiento del muro en 3 capas aplicadas en días distintos con lo que se consiguió el secado parcial de cada una de las capas. El resultado es un revestimiento de unos 5 cm de espesor con una textura rugosa de color tierra-blancuzco. Se podría aplicar una nueva capa más fina con finalidades meramente estéticas si se quisiera dejar visto con el color que deseemos o con finalidades



Figura 29. Soporte, proyección de nuestra muestra patrón y acabados superficiales en paramento.

funcionales de cerrar poros para hacer un revestimiento más durable y con mayor resistencia frente a la erosión. Pudiendo ser: imprimaciones e impregnaciones con hidrofugantes y/o nanosilicatos (confieren dureza), revocos, calicestrados, aplacados con otros materiales, etc.

Se extrajo del paramento una muestra representativa de la que se han tallado probetas cúbicas para someterlas a compresión simple. Para dicha extracción, dada la dureza y compacidad que ha alcanzado el material, fue necesario la realización de un surco perimetral (Figura 30.1) realizado mediante cortadora de disco y con la ayuda de martillo y cincel. El espesor del revestimiento ejecutado ha oscilado entre 5 y 8-9 cm (Figura 30.2).

Además de la proyección, y con la misma masa que se empleó para ésta (Tierra-Cal-Cemento y Tierra-AR-Cal-Cemento), se confeccionaron probetas prismáticas de 40x10x10 cm, planchas de 50x30x5 cm y cúbica de 15 cm de lado.

Las resistencias a compresión registradas, de la mezcla proyectada y de las probetas anteriormente citadas, presentan escasa dispersión (Tabla 6), siendo el valor medio de la muestra de Tierra-Cal-Cemento de 0,38 MPa y de la muestra de Tierra-AR-Cal-Cemento de 0,51 MPa. Si los comparamos con los resultados obtenidos en las roturas a compresión de las probetas compactadas a densidad proctor normal (4.08 MPa, sólo tierra, 4.21 MPa, con AR, 4.27 MPa, Tierra-AR--Cal y Cemento) podemos comprobar que se quedan muy por debajo, esto puede ser debido a varios factores, el contenido en agua, que deberá reducirse y



Figura 30. Extracción de muestras del revestimiento proyectado y elaboración de probetas.



Figura 31. Resultados del ensayo a compresión simple de muestras correspondiente al revestimiento ejecutado mediante la técnica de Tierra Proyectada® de la muestra patrón (T (P): tierra proyectada; AR (P): tierra con áridos reciclados proyectada; T_mx: probetas de tierra patrón; AR_mx: probetas con áridos reciclados de tierra patrón).

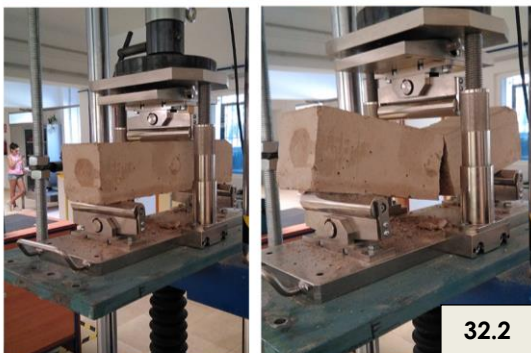
Tabla 6. Comparativa de las probetas extraídas del paramento y las elaboradas con la misma mezcla patrón, ensayadas a compresión simple.

Rotura a Compresión S.			
Tierra + Ca + Ce			
nº	dimensiones	Referencia	Mpa
1	4 x 4 x 4	T (P)_1	0,34
1	5 x 5 x 5	T (P)_2	0,39
1	6 x 6 x 6	T (P)_3	0,3
3	5 x 5 x 5	T_m1	0,3
		T_m2	0,31
		T_m3	0,23
1	10 x 10 x 10	T_m4	0,53
1	14,6 x 14,8 x 14,9	T_m5	0,49

Rotura a Compresión S.			
Tierra + AR + Ca + Ce			
nº	dimensiones	Referencia	Mpa
1	4 x 4 x 4	AR (P)_1	0,35
1	6 x 6 x 6	AR (P)_2	0,34
1	7 x 7 x 7	AR (P)_3	0,72
3	5,2 x 5,2 x 5,2	AR_m1	0,39
		AR_m2	0,39
		AR_m3	0,3
1	10 x 10 x 10	AR_m4	0,61
1	15 x 15 x 15	AR_m5	0,58

Rotura a Flexión S.			
Tierra + Ca + Ce			
nº	dimensiones	Referencia	kg/cm2
1	40 x 10 x 10	T (F)_1	0,815

Rotura a Flexión S.			
Tierra + AR + Ca + Ce			
nº	dimensiones	Referencia	kg/cm2
1	40 x 10 x 10	AR (F)_1	0,765
1	50 x 30 x 5	AR (F)_2	5,52



emplear un superfluidificante de última generación y la maquinaria de proyección (necesidad de mayor energía de proyección para conseguir una mayor compacidad y adherencia).

Las resistencias a flexión de las probetas prismáticas 40x10x10 cm tanto de Tierra como las de AR son muy parecidas, registrándose éstas en 0,815 y 0,765 kg/cm² respectivamente (Figura 32.3). La plancha de 50x30x5 cm presenta una resistencia a flexión de 5,52 kg/cm² (Figura 32.2).

Por otro lado, se han realizado ensayos de adherencia por tracción mediante un adherómetro digital y sufrideras de 50 mm de diámetro. Los resultados obtenidos tanto en la mezcla de Tierra como en la de Tierra-AR no han sido muy satisfactorios ya que los valores deben estar por debajo de 0.25 Kg/cm², límite inferior de medida del aparato, dado que no se ha obtenido lectura alguna (Figura 32.1). Sin embargo, los valores de cohesión sin drenaje, obtenidos como la mitad de la compresión simple, varían entre 1.5 y 1.95 Kg/cm², destacando una punta en el caso de Tierra + AR de 3.6 Kg/cm². Por lo anterior, se puede concluir que la textura y el sistema de proyección en varias capas condiciona en gran medida la adherencia del material, por ello es necesario abrir una nueva línea de investigación que contemple el sistema de adherencia por arrancamiento de placa que se realiza en materiales como la gunita.

Figura 32. Elaboración de probetas y ensayos a compresión simple y flexión pura de las mismas.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones y/o consideraciones finales que se pueden extraer del trabajo de investigación realizado son las siguientes:

- La tierra empleada se caracteriza por tener un porcentaje de gravas (fracción gruesa) que oscila entre el 2,81 y 8,66 % (>10 mm UNE) y un porcentaje de fracción fina que oscila entre el 6,41 y el 9,74 % (<0.088 mm UNE). Es un material que adquiere grandes resistencias cuando compacta ya que posee gran variedad de tamaños granulométricos y alcanza densidades similares con poca agua. Se ha comprobado que con el 8-9 % de humedad obtenemos unas densidades en torno a 2 g/cm³ y unas resistencias a compresión simple de 4 MPa con solo tierra.
- En cuanto a la dosificación más idónea Tierra-AR, los valores se encuentran entre el 15 y 25 % de AR, adquiriendo una resistencia a compresión simple entre 2,97 y 4,64 MPa. La Tierra utilizada presenta una distribución granulométrica carente de arena y gravilla que es completada perfectamente por los AR aportados, porque no es necesario sustituir sino complementar, lo que ayuda a alcanzar mayor resistencia a esfuerzos compresivos. Los AR, igual que el árido dolomítico empleado en otras mezclas, ayudan en el proceso de mezclado a crear una mezcla muy homogénea, evitando las aglomeraciones ("bolas") que suelen originarse cuando trabajamos solamente con tierra. Esto ayuda a disminuir el porcentaje de agua de amasado necesaria y a reducir fisuras por retracción en el acabado final del revestimiento.
- Las probetas tras siete días en cámara de carbonatación se secaron en estufa y fueron sometidas a compresión simple. Los resultados obtenidos varían entre 1,04 y 1,95 MPa para las probetas con AR sin premojar y entre 3,22 y 4,27 MPa para las premojadas, lo que demuestra la necesidad de aportar agua al AR, o al menos humedecerlo de forma previa a cualquier ensayo o puesta en obra. Por otro lado, la humedad presente en las muestras merma la cohesión de las partículas finas arcillosas y/o limosas, por lo que el secado en estufa o al aire (requiere de más tiempo) es fundamental para que este material refleje sus verdaderas resistencias.
- El orden de vertido, en el caso de la preparación de la mezcla para el ensayo de Proyección (modificado a partir de Fuentes, 2010), es

fundamental. Por ello, para la elaboración, el amasado de la mezcla previa a proyectar es de gran importancia realizar una lechada homogénea con todo el volumen del agua y los conglomerantes. Posteriormente añadir $\frac{1}{2}$ del árido y $\frac{3}{4}$ partes de la tierra. Finalmente, se añade la otra $\frac{1}{2}$ del árido y $\frac{1}{4}$ de la tierra.

El resultado es una mezcla lo suficientemente plástica para ser proyectada pero con una gran consistencia. Al final se ha prescindido de usar superplastificante haciendo una mezcla totalmente natural.

Como era de esperar, al secar la mezcla puesta en el paramento se aprecian pequeñas fisuras de retracción en el revestimiento de tierra generadas por el propio secado al disminuir su propio volumen por evaporación del agua. Una futura línea de investigación, es el estudio de la adición de aditivos oleosos o fluidificantes de última generación así como el empleo de fibras naturales como el cáñamo que absorban los esfuerzos de retracción. Por otro lado, también se puede estudiar una capa final de acabado a base de mortero de cal.

- El valor medio de la muestra de Tierra-Cal-Cemento de 0,38 MPa y de la muestra de Tierra-AR-Cal-Cemento de 0,51 MPa. Si los comparamos con los resultados referidos anteriormente (probetas compactadas a densidad proctor normal), podemos comprobar que se quedan muy por debajo, esto puede ser debido a varios factores, el contenido en agua, que deberá reducirse y emplear un superfluidificante de última generación; y la maquinaria de proyección (necesidad de mayor energía de proyección para conseguir una mayor compacidad y adherencia).

- En el caso de la Adherencia al soporte cerámico, los resultados obtenidos tanto en la mezcla de Tierra como en la de Tierra-AR no han sido muy satisfactorios ya que los valores deben estar por debajo de 0.25 Kg/cm^2 , límite inferior de medida del aparato, dado que no se ha obtenido lectura alguna. Sin embargo, los valores de cohesión sin drenaje, obtenidos como la mitad de la compresión simple, varían entre 1.5 y 1.95 Kg/cm^2 , destacando una punta en el caso de Tierra + AR de 3.6 Kg/cm^2 . Por lo anterior, se puede concluir que la textura y el sistema de proyección en varias capas condiciona en gran

medida la adherencia del material, por ello es necesario abrir una nueva línea de investigación que contemple el sistema de adherencia por arrancamiento de placa que se realiza en materiales como la gunita.

- Se ha trabajado con una fracción fina de áridos reciclados procedentes de Residuos de Construcción y Demolición tratada en una planta que complementan granulométricamente a la tierra proveniente de la mezcla del Horizonte B y C del suelo edáfico de la Formación Alhambra. Esto permite dar salida y alargar el ciclo de vida de un residuo que hoy en día es abundante y escasamente utilizado. Además, aparte de emplear el AR, la tierra ensayada es un suelo residual, que podríamos haber obtenido también en vertedero, por lo que de la misma forma se está contribuyendo a reutilizar y poner en valor un material de por sí sostenible.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, R. P. (2016). *CARACTERIZACIÓN DE SUELOS EDÁFICOS PROCEDENTES DE COLUVIALES O VERTIDOS ANTROPICOS DE LA FORMACIÓN ALHAMBRA PARA SU USO EN CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PATRIMONIO Y SU IDENTIDAD CULTURAL*. Granada: Universidad de Granada.
- AENOR (1993). *Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa*. UNE 103300:1993.
- AENOR (1993). *Determinación del límite plástico de un suelo*. UNE 103104:1993.
- AENOR (1994). *Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande*. UNE 103103:1994.
- AENOR (1994). *Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor normal*. UNE 103500:1994.
- AENOR (1995). *Método de ensayo para determinar el índice equivalente de arena de un suelo*. UNE 103 109:1995.
- AENOR (1995). *Preparación de muestras para ensayos de suelos*. UNE 103 101:1995.
- AENOR (2016). *Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad*. UNE-EN 459-1:2016.
- Asociación Española de reciclaje de residuos de construcción y demolición. (2017). *Informe de Producción y Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en España*. Madrid.
- ASTM D2487-11 (2011). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM, 11.
- Baca, L. F. (2007). *Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva*. APUNTES vol. 20 núm. 2: 369-383.
- CANNABRIC. *Ficha técnica cal hidráulica natural (EN 459-1)*.
<http://www.cannabric.com/media/documentos/21aa6_CAL_HIDRAULICA_NATURAL_ficha_tecnica.pdf> [Consulta: 18 de junio de 2019]
- Castilla, F.J. (2011). *Revestimientos y acabado superficiales en construcciones con tierra contemporáneas*. Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, p. 143-152.
- Comisión Europea. Dirección General de Mercado Interior, Industria, Emprendimiento y Pymes. (2016). *Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE*.
<<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/es/renditions/native>> [Consulta: 27 de febrero de 2019]
- Del Rio, M. et al. (2010). "La regulación jurídica de los residuos de construcción demolición (RCD) en España. El caso de la Comunidad de Madrid" en *Informes de la Construcción*, vol. 62, 517, p. 81-86.
- España, Comunidad Autónoma de Andalucía. Decreto 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos en Andalucía. BOJA, Sevilla, 26 de abril 2012, núm. 81.

<https://www.juntadeandalucia.es/boja/2012/81/4>

España, Comunidad Autónoma de Andalucía. Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. BOE, de 9 de agosto de 2007, núm. 190, p.34118- 34169.
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-15158-consolidado.pdf>

España. *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)*, de 18 de julio. BOE, de 22 de agosto de 2008, núm. 309.
<https://www.boe.es/boe/dias/2008/12/24/pdfs/A51901-51908.pdf>

España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. BOE, de 29 de julio de 2011, núm. 181.
<https://www.boe.es/eli/es/l/2011/07/28/22/con>

España. Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. BOE, de 19 de febrero de 2002, núm.43.
<https://www.boe.es/boe/dias/2002/02/19/pdfs/A06494-06515.pdf>

España. Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022, con fecha de aprobación de 16 de noviembre del 2015 y periodo de vigencia desde el 1 de enero del 2016 hasta el 31 de diciembre del 2022. BOE, de 22 de octubre de 2015, núm. 253.
https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaraprobado6noviembrecondae_tcm30-170428.pdf

España. Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR I), de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros para el período 2008-2015. BOE, de 26 de febrero de 2009, nº49, p. 19893-20016.
<https://www.boe.es/boe/dias/2009/02/26/pdfs/BOE-A-2009-3243.pdf>;
<http://www.icog.es/files/PNIR3.pdf>

España. Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición España. BOE, 13 de febrero de 2008, nº 38, p.7724-7730.
https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/pdf/D7F2AD2C-56F6-4C23-AD0D-F2E7DBDB0F5A/102302/1052008.pdf

Fuentes García, R.M (2010). *Construcciones de tierra. El Tapial. Nuevo sistema para construcción y restauración mediante la técnica de <<TIERRA PROYECTADA>>*. Tesis doctoral. Granada: Universidad de Granada. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. <http://hdl.handle.net/10481/5632>

Fuentes García, R.M y Valverde, I. (2015). *New procedure to adapt any type of soil for the consolidation and construction of earthen structures: projected earth system*. En I. V. R. Fuentes García, *new procedure to adapt any type of soil for the consolidation and construction of earthen structures: projected earth system*. (pág. 65(319)). Granada: Materiales de Construcción.

Grupo Banco Mundial. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*.
< <https://www.bancomundial.org/> > [Consulta: 24 de mayo de 2019]

- Martín Morales, M. (2013). *El residuo de construcción y demolición (RCD) como árido en la elaboración de prefabricados no estructurales*. Tesis doctoral. Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/29814>
- Morán del Pozo, J.M. et al. (2011). "Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición: limitaciones" en *Informes de la Construcción*, vol. 63, 521, p. 89-95.
- Sánchez Roldán, Z. (2019). *Utilización de árido reciclado para la fabricación de piezas de hormigón prefabricado de mobiliario urbano*. Tesis doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- Unión Europea. Directiva (UE) 1999/31/CE del Consejo, 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. *DOCE*, de 16 de julio de 1999, núm. 182, p.1-19.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1999-81425>
- Unión Europea. Directiva (UE) 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=ES>
- Unión Europea. Directiva (UE) 75/442/CEE del Consejo, 15 de julio de 1975, relativa a los residuos con las modificaciones de la Directiva 91/156/CEE del Consejo, de 18 de marzo de 1991.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0442&from=ES> ; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0157&from=en>
- Unión Europea, Junta de Andalucía, UCOPress, Cemosá, Agreca. (2015). *Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD). Guía de buenas prácticas*.
<<http://www.aridosrcdandalucia.es/rcd/wp-content/uploads/2016/03/Gestion-y-Tratamiento-de-Residuos-de-Construccion-y-Demolicion-RCD-Guia-de-Buenas-Practicas.pdf>> [Consulta: 2 de abril de 2019]
- Universidad de Granada. *Aula de materiales, informes y ensayos*.
< <http://dca.ugr.es/aulamateriales/index.html> > [Consulta: 12 de marzo de 2019]
- Valdés, A. J. et al. (2010). "Re-use of construction and demolition residues and industrial wastes for the elaboration or recycled eco-efficient concretes" en *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 8, nº 1, p. 25-34.
- Valverde-Palacios, I., Vidal, F., Valverde-Espinosa, I., & Martín-Morales, M. (2014). *Simplified empirical method for predicting earthquake-induced settlements and its application to a large area in Spain*. *Engineering Geology*, 181, 58-70.

ANEXOS

**Definiciones, Marco Legislativo,
Modelo de Gestión,
Catálogo de tablas y gráficos**
(Elaboración propia a partir de ensayos)

8.1. Ensayos

8.1.1. Ensayos Granulométricos

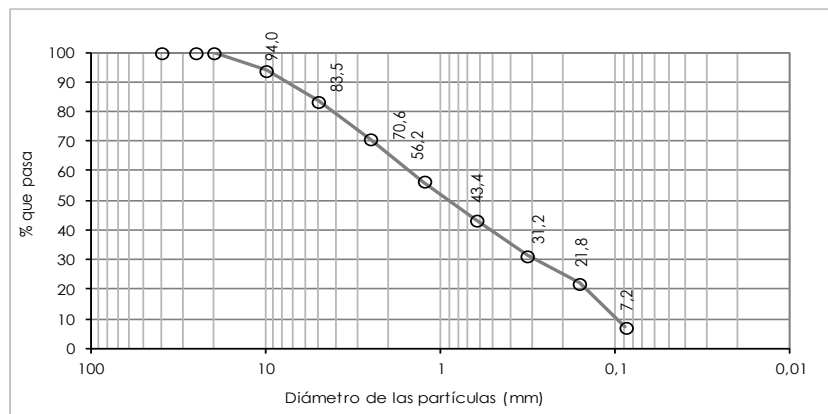
8.1.1.1. Tierra, muestra patrón

M - 03	Peso total muestra	5,006 kg
A	Muestra total seca al aire (g)	3669
B	Masa total retenida sobre el tamiz de 20 mm, lavada y seca (g)	0
C	Porción que pasa por el tamiz de 20 mm, seca al aire ensayada (g)	3669
D	Muestra retenida entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	381
E=D X ff	Muestra total entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	381
F=B+E	Muestra total retenida en el tamiz de 2 mm lavada y seca (g)	381
G	Muestra que pasa de 2mm ensayada secada al aire (g)	3220,6
H=G X f	Muestra que pasa tamiz de 2 mm ensayada y seca (g)	3123,98
J=(A-F) X f	Muestra total que pasa por el tamiz de 2 mm seca (g)	3189,36
K=F+J	Muestra total seca (g)	3570,36

f1	1	ff	1,010464216
f2	1,020928431	f	0,97

	Tamices UNE designación y apertura	Retenido tamices parcial(g)	Retenido tamices totales (g)	Pasa en muestra total		OBSERVACIONES
				(g)	%	
	I	II	III	IV	V	
BLOQUE 1	40	0	0	1307	100	
	25	0	0	1307	100	
	20	0	0	1307	100	
BLOQUE 2	10	77,8	77,8	1229,2	94,04	
	5	137,4	215,2	1091,8	83,53	
	2,5	169	384,2	922,8	70,6	
BLOQUE 3	1,25	187,7	571,9	735,1	56,24	
	0,63	167,8	739,7	567,3	43,4	
	0,32	159,1	898,8	408,2	31,23	
	0,16	123	1021,8	285,2	21,82	
	0,088	191,5	1213,3	93,7	7,17	
	fondo	93,7	1307	0	0	

M-03 (Granulometría)



Tamices UNE 7050-2:97 (mm)	Pasa muestra total (%)
40	100,00
25	100,00
20	100,00
10	94,04
5	83,53
2,5	70,60
1,25	56,24
0,63	43,40
0,32	31,23
0,16	21,82
0,088	7,17

D10	0,099
D30	0,26
D60	15

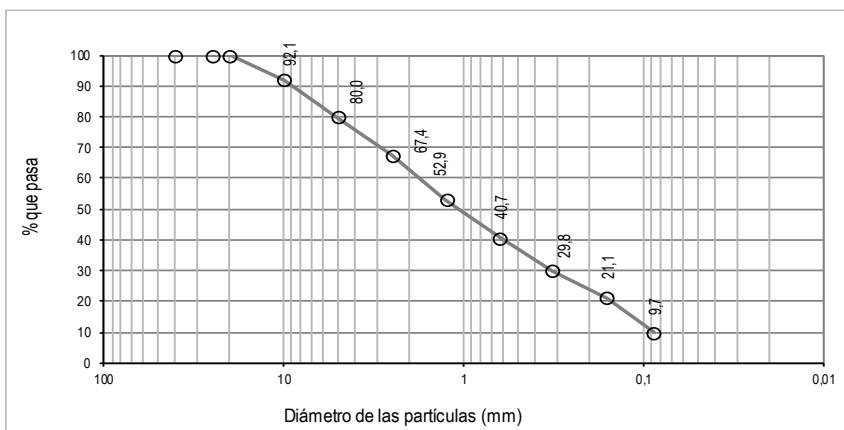
Cu (D60/D10)	15,15
Cc ((D30) ² / (D10.D60))	1,75

M - 04	Peso total muestra	5,029 kg
A	Muestra total seca al aire (g)	3803
B	Masa total retenida sobre el tamiz de 20 mm, lavada y seca (g)	0
C	Porción que pasa por el tamiz de 20 mm, seca al aire ensayada (g)	3803
D	Muestra retenida entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	389,1
E=D X ff	Muestra total entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	389,1
F=B+E	Muestra total retenida en el tamiz de 2 mm lavada y seca (g)	389,1
G	Muestra que pasa de 2mm ensayada secada al aire (g)	3358,1
H=G X f	Muestra que pasa tamiz de 2 mm ensayada y seca (g)	3257,36
J=(A-F) X f	Muestra total que pasa por el tamiz de 2 mm seca (g)	3311,48
K=F+J	Muestra total seca (g)	3700,58

f1	1	ff	1,008307341
f2	1,016614682	f	0,97

	Tamices UNE designación y abertura	Retenido tamices parcial(g)	Retenido tamices totales (g)	Pasa en muestra total		OBSERVACIONES
				(g)	%	
				IV	V	
BLOQUE 1	40	0	0	1196,6	100	
	25	0	0	1196,6	100	
	20	0	0	1196,6	100	
BLOQUE 2	10	94,2	94,2	1102,4	92,13	
	5	145,7	239,9	956,7	79,95	
	2,5	150	389,9	806,7	67,42	
BLOQUE 3	1,25	173,1	563	633,6	52,92	
	0,63	146,7	709,7	486,9	40,69	
	0,32	130,4	840,1	356,5	29,79	
	0,16	103,5	943,6	253	21,14	
	0,088	136,4	1080	116,6	9,74	
	fondo	116,6	1196,6	0	0	

M-04 (Granulometría)



Tamices UNE 7050-2:97 (mm)	Pasa muestra total (%)
40	100,00
25	100,00
20	100,00
10	92,13
5	79,95
2,5	67,42
1,25	52,92
0,63	40,69
0,32	29,79
0,16	21,14
0,088	9,74

D ₁₀	0,095
D ₃₀	0,185
D ₆₀	1,8

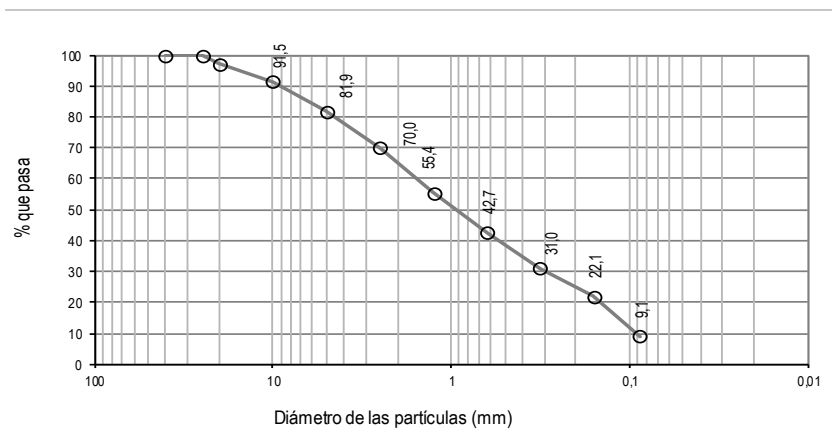
Cu (D ₆₀ /D ₁₀)	18,947
Cc ((D ₃₀) ² / (D ₁₀ .D ₆₀))	0,2

M - 5	Peso total muestra	5,039 kg
A	Muestra total seca al aire (g)	3734
B	Masa total retenida sobre el tamiz de 20 mm, lavada y seca (g)	35,4
C	Porción que pasa por el tamiz de 20 mm, seca al aire ensayada (g)	3698,6
D	Muestra retenida entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	418,7
E=D X ff	Muestra total entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	418,7
F=B+E	Muestra total retenida en el tamiz de 2 mm lavada y seca (g)	454,1
G	Muestra que pasa de 2mm ensayada secada al aire (g)	3307,5
H=G X f	Muestra que pasa tamiz de 2 mm ensayada y seca (g)	3208,28
J=(A-F) X f	Muestra total que pasa por el tamiz de 2 mm seca (g)	3181,5
K=F+J	Muestra total seca (g)	3635,6

f1	1	ff	0,995826424
f2	0,991652848	f	0,97

	Tamices UNE designación y abertura	Retenido tamices parcial(g)	Retenido tamices totales (g)	Pasa en muestra total		OBSERVACIONES
				(g)	%	
				IV	V	
BLOQUE 1	40	0	0	1278,6	100	
	25	0	0	1278,6	100	
	20	35,9	35,9	1242,7	97,19	
BLOQUE 2	10	72,8	108,7	1169,9	91,5	
	5	122,9	231,6	1047	81,89	
	2,5	152,1	383,7	894,9	69,99	
BLOQUE 3	1,25	186,9	570,6	708	55,37	
	0,63	162,7	733,3	545,3	42,65	
	0,32	149	882,3	396,3	30,99	
	0,16	114,1	996,4	282,2	22,07	
	0,088	166,4	1162,7	115,8	9,06	
	fondo	115,8	1278,6	0	0	

M-05 (Granulometría)



Tamices UNE 7050-2:97 (mm)	Pasa muestra total (%)
40	100,00
25	100,00
20	97,19
10	91,50
5	81,89
2,5	69,99
1,25	55,37
0,63	42,65
0,32	30,99
0,16	22,07
0,088	9,06

D10	0,09
D30	0,32
D60	1,6

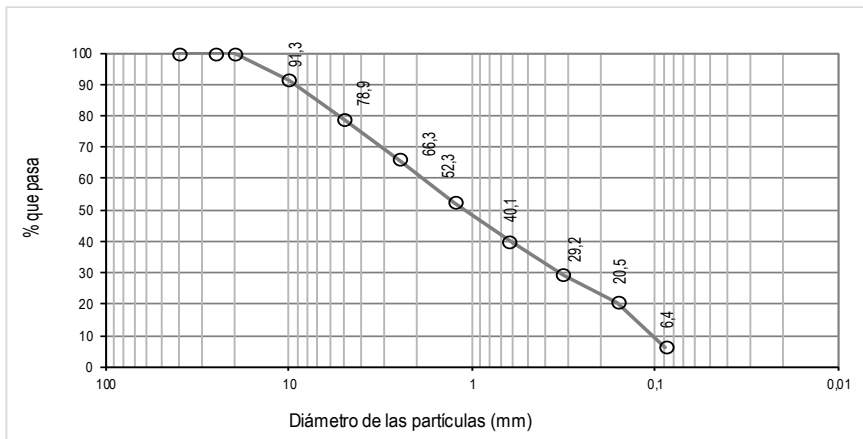
Cu (D60/D10)	17,77
Cc ((D30) ² / (D10.D60))	0,71

M - 6	Peso total muestra	5,049 kg
A	Muestra total seca al aire (g)	3818
B	Masa total retenida sobre el tamiz de 20 mm, lavada y seca (g)	0
C	Porción que pasa por el tamiz de 20 mm, seca al aire ensayada (g)	3818
D	Muestra retenida entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	373,8
E=D X ff	Muestra total entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	373,8
F=B+E	Muestra total retenida en el tamiz de 2 mm lavada y seca (g)	373,8
G	Muestra que pasa de 2mm ensayada secada al aire (g)	3325,8
H=G X f	Muestra que pasa tamiz de 2 mm ensayada y seca (g)	3226,03
J=(A-F) X f	Muestra total que pasa por el tamiz de 2 mm seca (g)	3340,87
K=F+J	Muestra total seca (g)	3716,67

f1	1	ff	1,017798967
f2	1,035597933	f	0,97

	Tamices UNE designación y abertura	Retenido tamices parcial(g)	Retenido tamices totales (g)	Pasa en muestra total		OBSERVACIONES
				(g)	%	
				IV	V	
BLOQUE 1	40	0	0	1201,3	100	
	25	0	0	1201,3	100	
	20	0	0	1201,3	100	
BLOQUE 2	10	104	104	1097,3	91,34	
	5	149,5	253,5	947,8	78,9	
	2,5	151,9	405,4	795,9	66,25	
BLOQUE 3	1,25	167,2	572,6	628,7	52,33	
	0,63	146,5	719,1	482,2	40,14	
	0,32	130,9	850	351,3	29,24	
	0,16	105,3	955,3	246	20,48	
	0,088	169	1124,3	77	6,41	
	fondo	77	1201,3	0	0	

M-06 (Granulometría)



Tamices UNE 7050-2:97 (mm)	Pasa muestra total (%)
40	100,00
25	100,00
20	100,00
10	91,34
5	78,90
2,5	66,25
1,25	52,33
0,63	40,14
0,32	29,24
0,16	20,48
0,088	6,41

D ₁₀	0,1
D ₃₀	0,34
D ₆₀	1,7

Cu (D ₆₀ /D ₁₀)	17
Cc ((D ₃₀) ² / (D ₁₀ .D ₆₀))	0,68

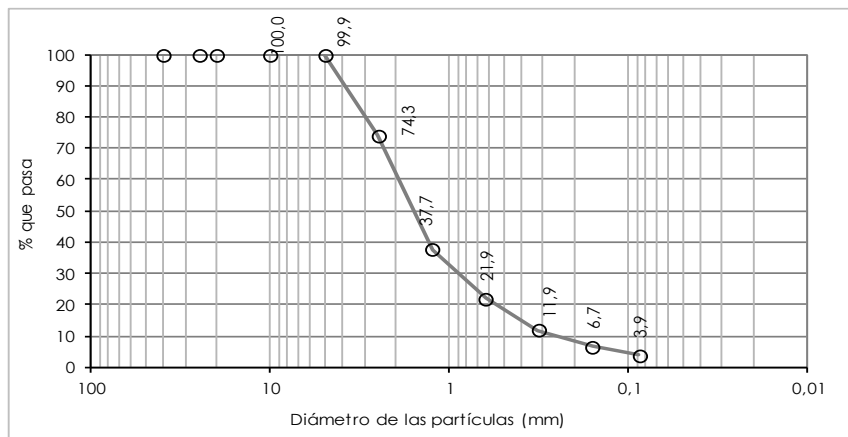
8.1.1.2. Áridos Reciclados (AR)

RCD - 01	Peso total muestra	5,140 kg
A	Muestra total seca al aire (g)	1305
B	Masa total retenida sobre el tamiz de 20 mm, lavada y seca (g)	0
C	Porción que pasa por el tamiz de 20 mm, seca al aire ensayada (g)	1305
D	Muestra retenida entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	370
E=D X ff	Muestra total entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	370
F=B+E	Muestra total retenida en el tamiz de 2 mm lavada y seca (g)	370
G	Muestra que pasa de 2mm ensayada secada al aire (g)	925
H=G X f	Muestra que pasa tamiz de 2 mm ensayada y seca (g)	914,1
J=(A-F) X f	Muestra total que pasa por el tamiz de 2 mm seca (g)	923,78
K=F+J	Muestra total seca (g)	1293,78

f1	1	ff	1,005294826
f2	1,010589651	f	0,988

	Tamices UNE designación y abertura	Retenido tamices parcial(g)	Retenido tamices totales (g)	Pasa en muestra total		OBSERVACIONES
				(g)	%	
	I	II	III	IV	V	
BLOQUE 1	40	0	0	5078,4	100	
	25	0	0	5078,4	100	
	20	0	0	5078,4	100	
BLOQUE 2	10	0	0	5078,4	100	
	5	5,9	5,9	5072,5	99,87	
BLOQUE 3	2,5	1301,2	1307,1	3771,3	74,26	
	1,25	1855,8	3162,9	1915,5	37,72	
	0,63	806,1	3969	1109,4	21,85	
	0,32	506,8	4475,8	602,6	11,87	
	0,16	263,9	4739,7	338,7	6,67	
	0,088	141,9	4881,6	196,8	3,87	
	fondo	196,8	5078,4	0	0	

RCD-01 (Granulometría)



Tamices UNE 7050-2:97 (mm)	Pasa muestra total (%)
40	100,00
25	100,00
20	100,00
10	100,00
5	99,87
2,5	74,26
1,25	37,72
0,63	21,85
0,32	11,87
0,16	6,67
0,088	3,87

D10	0,25
D30	0,85
D60	1,85

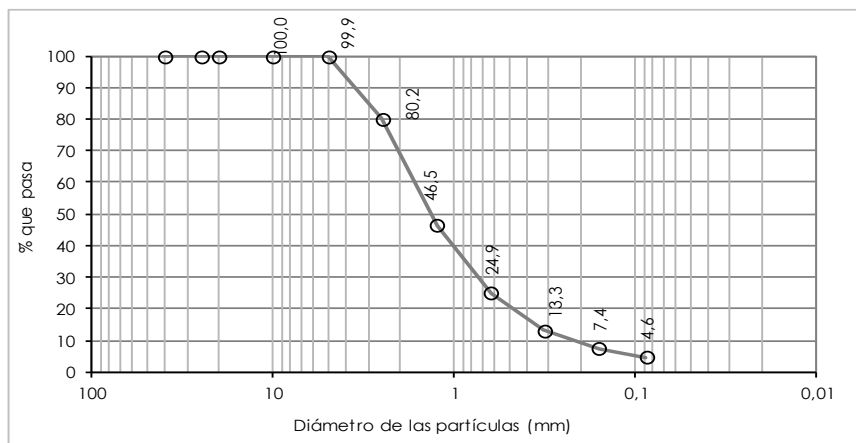
Cu (D60/D10)	7,4
Cc ((D30) ² / (D10.D60))	156

RCD - 02	Peso total muestra	5,287 kg
A	Muestra total seca al aire (g)	1129,8
B	Masa total retenida sobre el tamiz de 20 mm, lavada y seca (g)	0
C	Porción que pasa por el tamiz de 20 mm, seca al aire ensayada (g)	1129,8
D	Muestra retenida entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	440,6
E=D X ff	Muestra total entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	440,6
F=B+E	Muestra total retenida en el tamiz de 2 mm lavada y seca (g)	440,6
G	Muestra que pasa de 2mm ensayada secada al aire (g)	1129,8
H=G X f	Muestra que pasa tamiz de 2 mm ensayada y seca (g)	1116,2
J=(A-F) X f	Muestra total que pasa por el tamiz de 2 mm seca (g)	680,86
K=F+J	Muestra total seca (g)	1121,46

f1	1	ff	0,804990145
f2	0,60998029	f	0,9879

	Tamices UNE designación y abertura	Retenido tamices parcial(g)	Retenido tamices totales (g)	Pasa en muestra total		OBSERVACIONES
				(g)	%	
				IV	V	
BLOQUE 1	40	0	0	3465,2	100	
	25	0	0	3465,2	100	
	20	0	0	3465,2	100	
BLOQUE 2	10	0	0	3465,2	100	
	5	2,2	2,2	3463	99,94	
	2,5	685	687,2	2778	80,17	
BLOQUE 3	1,25	1165,6	1852,8	1612,4	46,53	
	0,63	750,7	2603,5	861,7	24,87	
	0,32	402,4	3005,9	459,3	13,25	
	0,16	203,6	3209,5	255,7	7,38	
	0,088	97,6	3307	158,2	4,56	
	fondo	158,2	3465,2	0	0	

RCD-02 (Granulometría)



Tamices UNE 7050-2:97 (mm)	Pasa muestra total (%)
40	100,00
25	100,00
20	100,00
10	100,00
5	99,94
2,5	80,17
1,25	46,53
0,63	24,87
0,32	13,25
0,16	7,38
0,088	4,56

D10	0,25
D30	0,75
D60	1,8

Cu (D60/D10)	7,2
Cc ((D30) ² / (D10.D60))	1,25

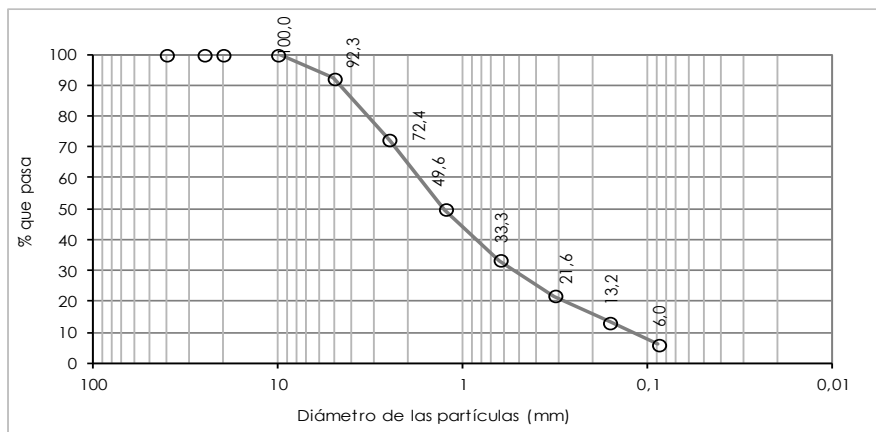
8.1.1.3. Mezcla Tierra + AR

RCD - 25	Peso total muestra	5,086 kg
A	Muestra total seca al aire (g)	2090,2
B	Masa total retenida sobre el tamiz de 20 mm, lavada y seca (g)	0
C	Porción que pasa por el tamiz de 20 mm, seca al aire ensayada (g)	2090,2
D	Muestra retenida entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	481,7
E=D X ff	Muestra total entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	481,7
F=B+E	Muestra total retenida en el tamiz de 2 mm lavada y seca (g)	481,7
G	Muestra que pasa de 2mm ensayada secada al aire (g)	986,35
H=G X f	Muestra que pasa tamiz de 2 mm ensayada y seca (g)	953,5928148
J=(A-F) X f	Muestra total que pasa por el tamiz de 2 mm seca (g)	1555,080897
K=F+J	Muestra total seca (g)	2036,780897

f1	1	ff	1,315379936
f2	1,630759872	f	0,967

	Tamices UNE designación y abertura	Retenido tamices parcial(g)	Retenido tamices totales (g)	Pasa en muestra total		OBSERVACIONES
				(g)	%	
	I	II	III	IV	V	
BLOQUE 1	40	0	0	2090,2	100	
	25	0	0	2090,2	100	
	20	0	0	2090,2	100	
BLOQUE 2	10	0	0	2090,2	100	
	5	140,1	140,1	1930,1	92,34	
	2,5	437,8	577,9	1512,3	72,35	
BLOQUE 3	1,25	475,2	1053,1	1037,1	49,62	
	0,63	341,7	1394,8	695,4	33,27	
	0,32	245	1639,8	450,4	21,55	
	0,16	175,4	1815,2	275	13,16	
	0,088	150,3	1965,5	124,7	5,97	
	fondo	124,7	2090,2	0	0	

RCD-25 (Granulometría)



Tamices UNE 7050-2:97 (mm)	Pasa muestra total (%)
40	100,00
25	100,00
20	100,00
10	100,00
5	92,34
2,5	72,35
1,25	49,62
0,63	33,27
0,32	21,55
0,16	13,16
0,088	5,97

D10	0,14
D30	0,45
D60	1,75

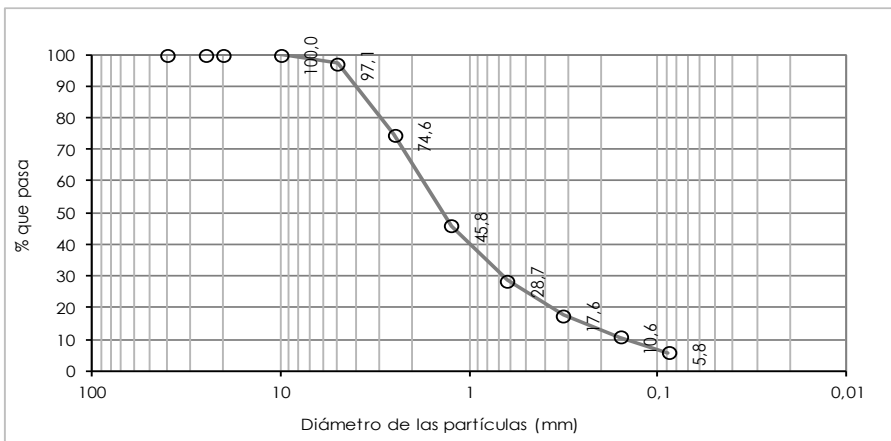
Cu (D60/D10)	12,5
Cc ((D30) ² / (D10.D60))	0,83

RCD - 45	Peso total muestra	6,181 kg
A	Muestra total seca al aire (g)	3555
B	Masa total retenida sobre el tamiz de 20 mm, lavada y seca (g)	0
C	Porción que pasa por el tamiz de 20 mm, seca al aire ensayada (g)	3555
D	Muestra retenida entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	539,6
E=D X ff	Muestra total entre 20 mm y 2 mm, lavada y seca (g)	539,6
F=B+E	Muestra total retenida en el tamiz de 2 mm lavada y seca (g)	539,6
G	Muestra que pasa de 2mm ensayada secada al aire (g)	1215,48
H=G X f	Muestra que pasa tamiz de 2 mm ensayada y seca (g)	1176,58464
J=(A-F) X f	Muestra total que pasa por el tamiz de 2 mm seca (g)	2918,9072
K=F+J	Muestra total seca (g)	3458,5072

f1	1	ff	1,740415309
f2	2,480830618	f	0,968

	Tamices UNE designación y abertura	Retenido tamices parcial(g)	Retenido tamices totales (g)	Pasa en muestra total		OBSERVACIONES
				(g)	%	
	l	l	l	l	l	
BLOQUE 1	40	0	0	3555	100	
	25	0	0	3555	100	
	20	0	0	3555	100	
BLOQUE 2	10	0	0	3555	100	
	5	102,5	102,5	3452,5	97,12	
BLOQUE 3	2,5	800,5	903	2652	74,59	
	1,25	1022,8	1925,8	1629,2	45,83	
	0,63	610,6	2536,4	1018,6	28,65	
	0,32	393,8	2930,2	624,8	17,58	
	0,16	248,4	3178,6	376,4	10,59	
	0,088	169,8	3348,4	206,6	5,81	
	fondo	206,6	3555	0	0	

RCD-45 (Granulometría)



Tamices UNE 7050-2:97 (mm)	Pasa muestra total (%)
40	100,00
25	100,00
20	100,00
10	100,00
5	97,12
2,5	74,59
1,25	45,83
0,63	28,65
0,32	17,58
0,16	10,59
0,088	5,81

D10	0,15
D30	0,68
D60	1,85

Cu (D60/D10)	12,33
Cc ((D30) ² / (D10.D60))	1,67

8.1.2. Ensayos humedad higroscópica

8.1.2.1. Tierra, muestra patrón

Humedad higroscópica (fracción inferior a 2 mm)		
$w = (a/s) \times 100$	Humedad higroscópica	3,08
M - 03/04/05/06	Referencia tara	100,4
$a = (t+s+a) - (t+s)$	Agua (g)	3
$t+s+a$	tara+suelo+agua (g)	165,9
$t+s$	tara+suelo (g)	162,9
t	tara (g)	65,5
$s = (t+s) - t$	suelo (g)	97,4
$f = 100/100+w$	Factor de corrección	0,97

8.1.2.2. Áridos Reciclados (AR)

Humedad higroscópica (fracción inferior a 2 mm)		
$w = (a/s) \times 100$	Humedad higroscópica	1,1924
RCD - 01	Referencia tara	925
$a = (t+s+a) - (t+s)$	Agua (g)	10,9
$t+s+a$	tara+suelo+agua (g)	1910
$t+s$	tara+suelo (g)	1899,1
t	tara (g)	985
$s = (t+s) - t$	suelo (g)	914,1
$f = 100/100+w$	Factor de corrección	0,988

Humedad higroscópica (fracción inferior a 2 mm)		
$w = (a/s) \times 100$	Humedad higroscópica	1,2179
RCD - 02	Referencia tara	1129,8
$a = (t+s+a) - (t+s)$	Agua (g)	13,6
$t+s+a$	tara+suelo+agua (g)	1599,4
$t+s$	tara+suelo (g)	1585,8
t	tara (g)	469,6
$s = (t+s) - t$	suelo (g)	1116,2
$f = 100/100+w$	Factor de corrección	0,9879

8.1.2.3. Mezcla Tierra + AR

Humedad higroscópica (fracción inferior a 2 mm)		
$w = (a/s) \times 100$	Humedad higroscópica	3,435133396
RCD - 25%	Referencia tara	
$a = (t+s+a) - (t+s)$	Agua (g)	69,4
t+s+a	tara+suelo+agua (g)	3077,6
t+s	tara+suelo (g)	3008,2
t	tara (g)	987,9
$s = (t+s) - t$	suelo (g)	2020,3
$f = 100/100+w$	Factor de corrección	0,966789491

Humedad higroscópica (fracción inferior a 2 mm)		
$w = (a/s) \times 100$	Humedad higroscópica	3,291359097
RCD - 45%	Referencia tara	
$a = (t+s+a) - (t+s)$	Agua (g)	113,7
t+s+a	tara+suelo+agua (g)	5293,8
t+s	tara+suelo (g)	5174,1
t	tara (g)	1719,6
$s = (t+s) - t$	suelo (g)	3454,5
$f = 100/100+w$	Factor de corrección	0,968135194

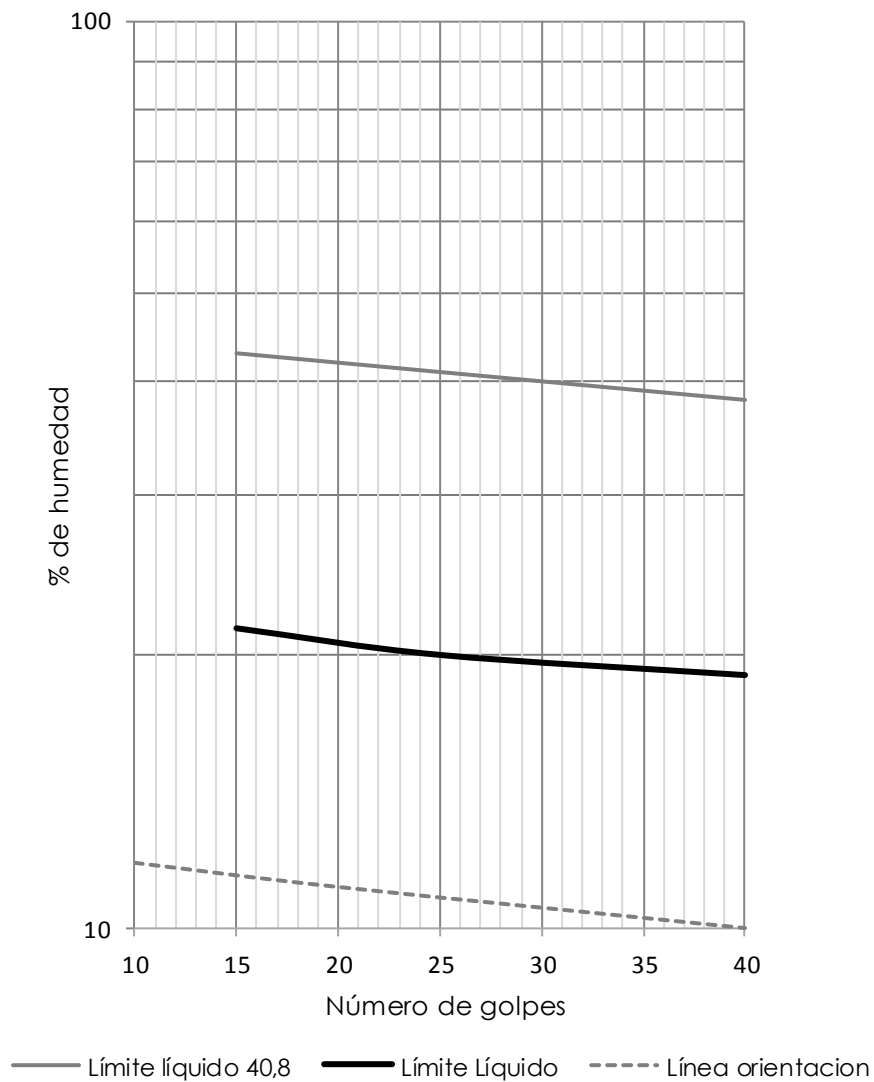
8.1.3. Ensayos Límite Líquido y Límite Plástico

M - 03

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación N°	L-1	L-2	L-3
Número de golpes	28	31	26
Tara+suelo+Agua	81,8	125,37	130,01
Tara+suelo	76,4	120,6	125
Tara	48,35	97,66	100,87
s Suelo	28,05	22,94	24,13
a Agua	5,4	4,77	5,01
% Humedad	19,2513369	20,793374	20,7625363

LÍMITE PLÁSTICO	
L1	L2
1	2
51,38	59,41
49,8	58,2
40,57	51,36
9,23	6,84
1,58	1,21
17,11809317	17,6900585

LÍMITE LÍQUIDO	20,4
LÍMITE PLÁSTICO	17,405
ÍNDICE PLÁSTICO	3,168

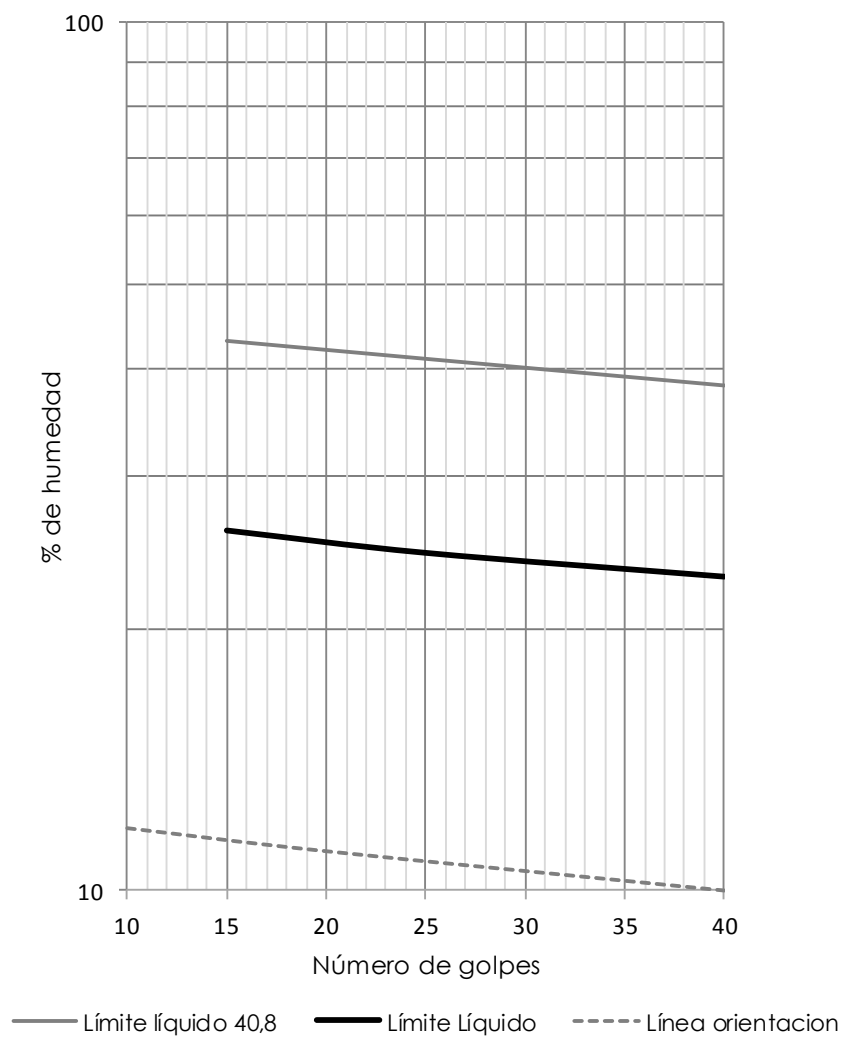


M - 04

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación N°	L-3	L-4	
Número de golpes	30	25	
Tara+suelo+Agua	120,2	58,5	
Tara+suelo	113	53,1	
Tara	81,77	31,02	
s Suelo	31,23	22,08	
a Agua	7,2	5,4	
% Humedad	23,054755	24,4565217	

LÍMITE PLÁSTICO	
L3	L4
3	4
32,9	74,21
32,1	73,6
27,3	69,29
4,8	4,31
0,8	0,61
16,66666667	14,1531323

LÍMITE LÍQUIDO	24,46
LÍMITE PLÁSTICO	15,41
ÍNDICE PLÁSTICO	8,49

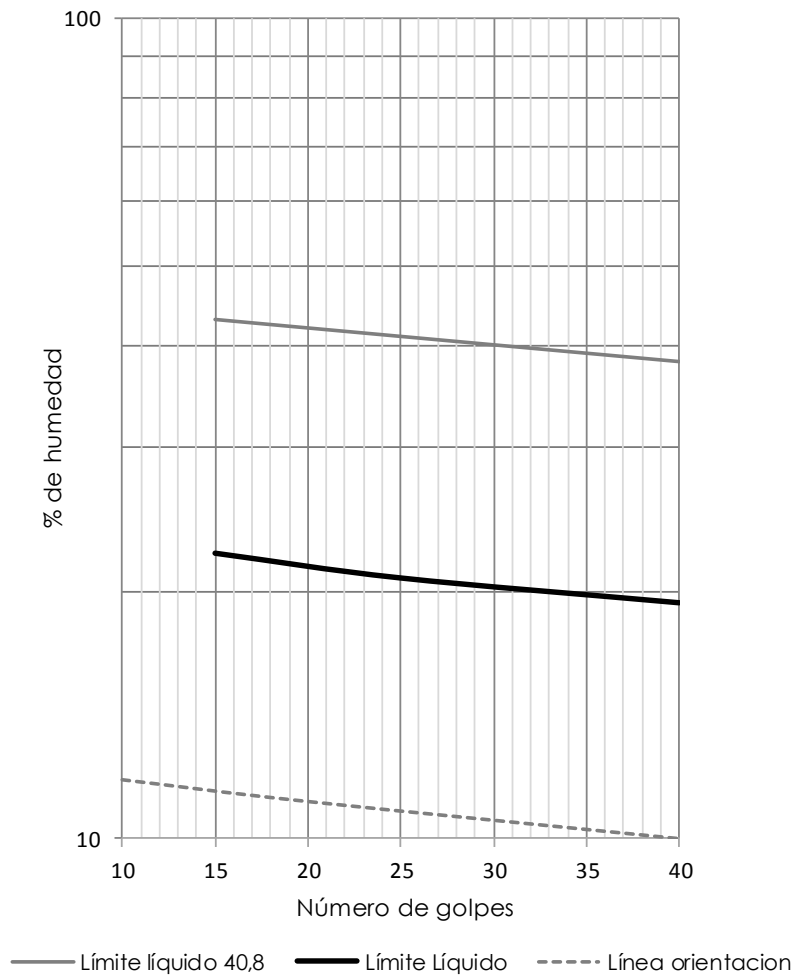


M - 05

LÍMITE LIQUIDO			
Determinación N°	A -1	A -2	A -3
Número de golpes	30	23	27
Tara+suelo+Agua	117,57	101,7	109,36
Tara+suelo	113,7	98,6	105,4
Tara	95,6	84,29	85
s Suelo	18,1	14,31	20,4
a Agua	3,87	3,1	3,96
% Humedad	21,3812155	21,6631726	19,4117647

LÍMITE PLÁSTICO	
A1	A2
1	2
51,38	59,41
49,8	58,2
40,57	51,36
9,23	6,84
1,58	1,21
17,11809317	17,6900585

LÍMITE LÍQUIDO	20,966
LÍMITE PLÁSTICO	14,78
ÍNDICE PLÁSTICO	6,186

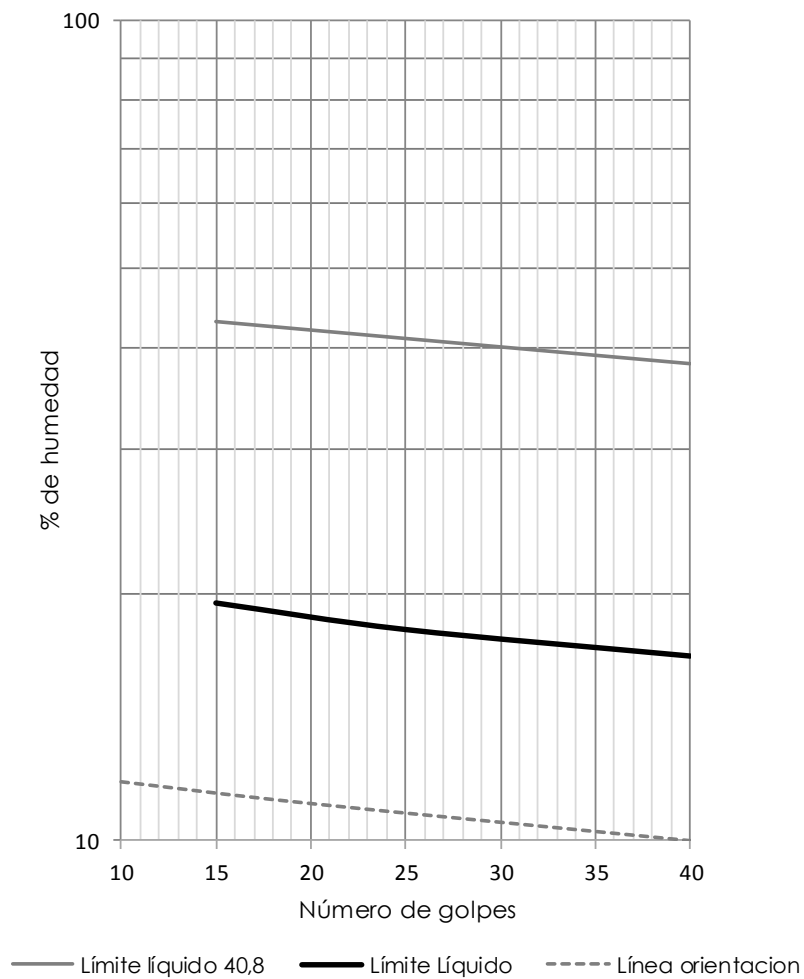


M - 06

LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación N°	B -1	B -2	B -3
Número de golpes	28	27	25
Tara+suelo+Agua	57,47	58,19	216,33
Tara+suelo	55,4	56,3	214
Tara	41,18	41,39	202,31
s Suelo	14,22	14,91	11,69
a Agua	2,07	1,89	2,33
% Humedad	14,556962	12,6760563	19,9315654

LÍMITE PLÁSTICO	
B1	B2
1	2
30,77	32,17
30,2	31,6
26,41	27,79
3,79	3,81
0,57	0,57
15,03957784	14,9606299

LÍMITE LÍQUIDO	19,932
LÍMITE PLÁSTICO	15,0001039
ÍNDICE PLÁSTICO	4,93189612



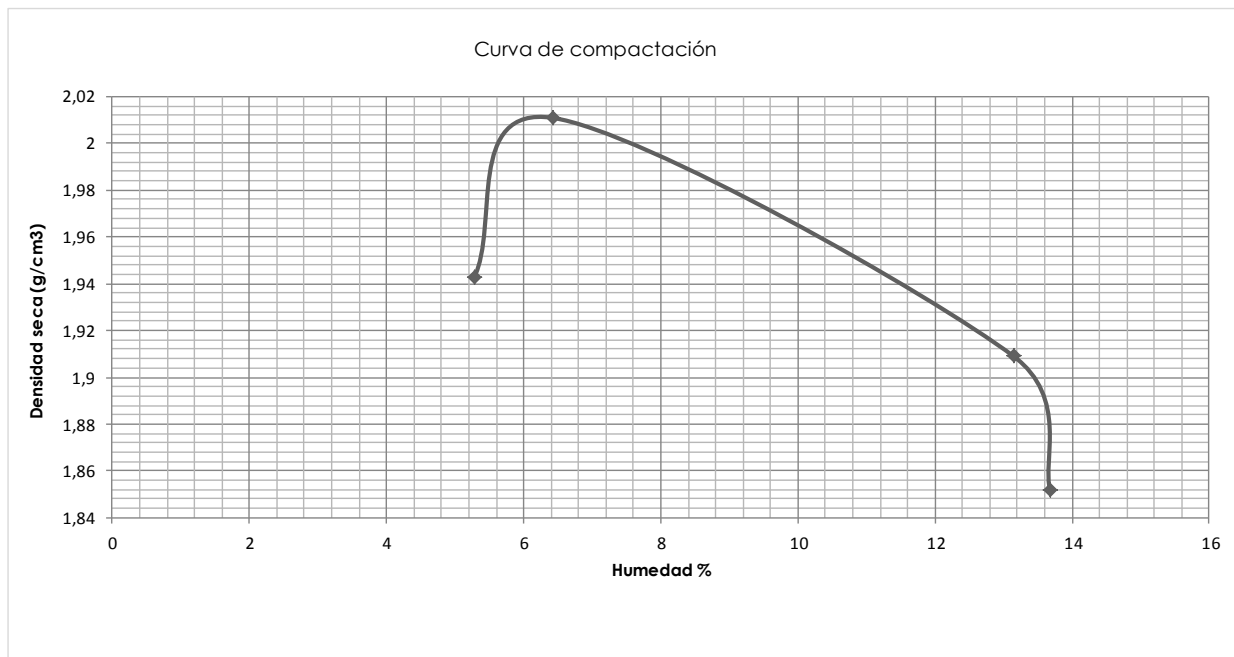
8.1.4. Ensayos Proctor Normal

ENSAYO PROCTOR	M - 03
Molde	1 dm ³
Maza	2,5 kg
Altura de caída	30,5 cm
Nº de capas	3
Nº de golpes	78
Nº de golpes por capa	26
Material utilizado	Tierra Formación Alhambra

DENSIDAD SECA	Punto nº	1	2	3	4	
	t+s+a	Molde+suelo+agua	8310	8405	8425	8370
	t	Molde	6265	6265	6265	6265
	s+a=(t+s+a)-t	suelo + agua	2045	2140	2160	2105
	V	volumen	1000	1000	1000	1000
	s=(s+a)100/(100+w)	Suelo	1942,52478	2010,91213	1909,03867	1851,70488
pd=s/V	Densidad seca	1,94252478	2,01091213	1,90903867	1,85170488	

HUMEDAD	Referencia tara	P1	P2	P3	P4	
	t+s+a	Tara+suelo+agua	220,3	180,87	203,51	202,76
	t+s	Tara+suelo	211,2	172,2	184,1	182,5
	t	Tara	38,7	37,14	36,45	34,39
	s=(t+s)-t	Suelo	172,5	135,06	147,65	148,11
	a=(t+s+a)-(t+s)	Agua	9,1	8,67	19,41	20,26
w=(a/s)100	Humedad	5,27536232	6,41936917	13,1459533	13,6790223	

DENSIDAD MÁXIMA	2,011
HUMEDAD ÓPTIMA	9,63

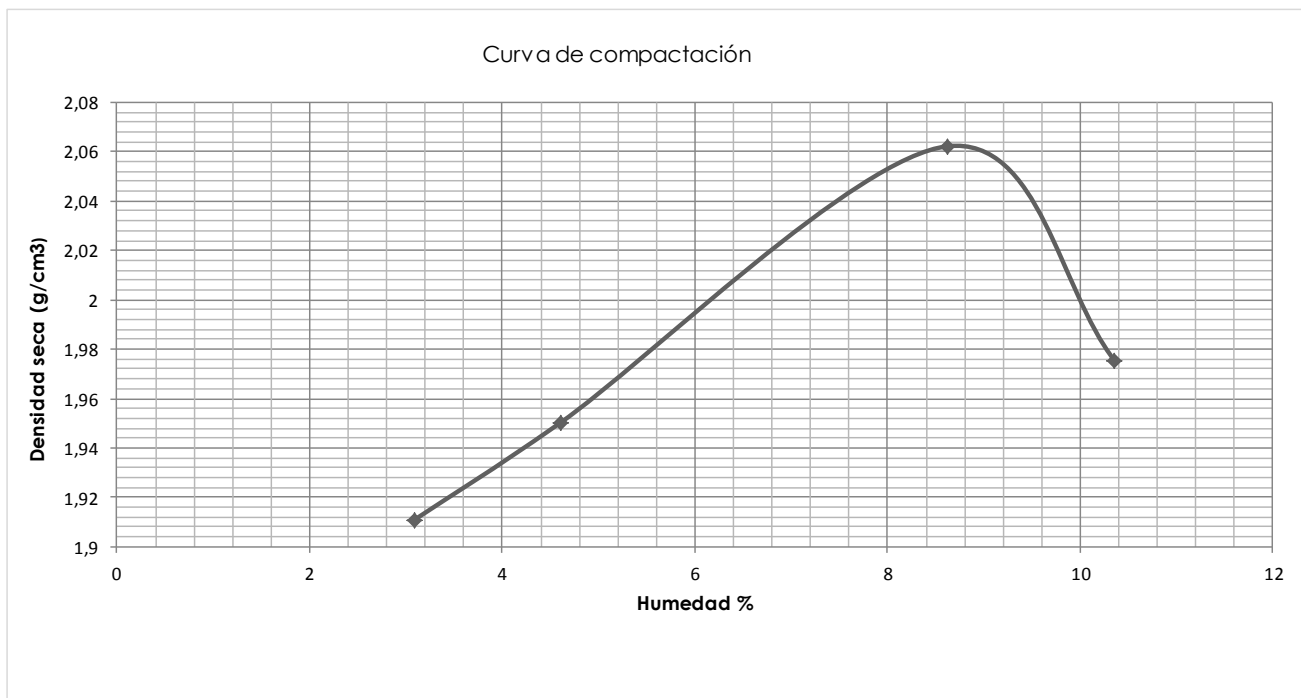


ENSAYO PROCTOR	M - 06
Molde	1 dm ³
Maza	2,5 kg
Altura de caída	30,5 cm
Nº de capas	3
Nº de golpes	78
Nº de golpes por capa	26
Material utilizado	Tierra Formación Alhambra

DENSIDAD SECA	Punto nº	1	2	3	4	
	t+s+a	Molde+suelo+agua	8235	8305	8505	8445
	t	Molde	6265	6265	6265	6265
	s+a=(t+s+a)-t	suelo + agua	1970	2040	2240	2180
	V	volumen	1000	1000	1000	1000
	$s=(s+a)100/(100+w)$	Suelo	1910,9652	1950,23102	2062,20019	1975,42522
$\rho_d=s/V$	Densidad seca	1,9109652	1,95023102	2,06220019	1,97542522	

HUMEDAD	Referencia tara	P1	P2	P3	P4	
	t+s+a	Tara+suelo+agua	146,85	199,3	180,23	202,28
	t+s	Tara+suelo	143,5	192,1	168,7	186,6
	t	Tara	35,06	35,68	34,97	35,19
	$s=(t+s)-t$	Suelo	108,44	156,42	133,73	151,41
	$a=(t+s+a)-(t+s)$	Agua	3,35	7,2	11,53	15,68
$w=(a/s)100$	Humedad	3,08926595	4,60299194	8,62185	10,3559871	

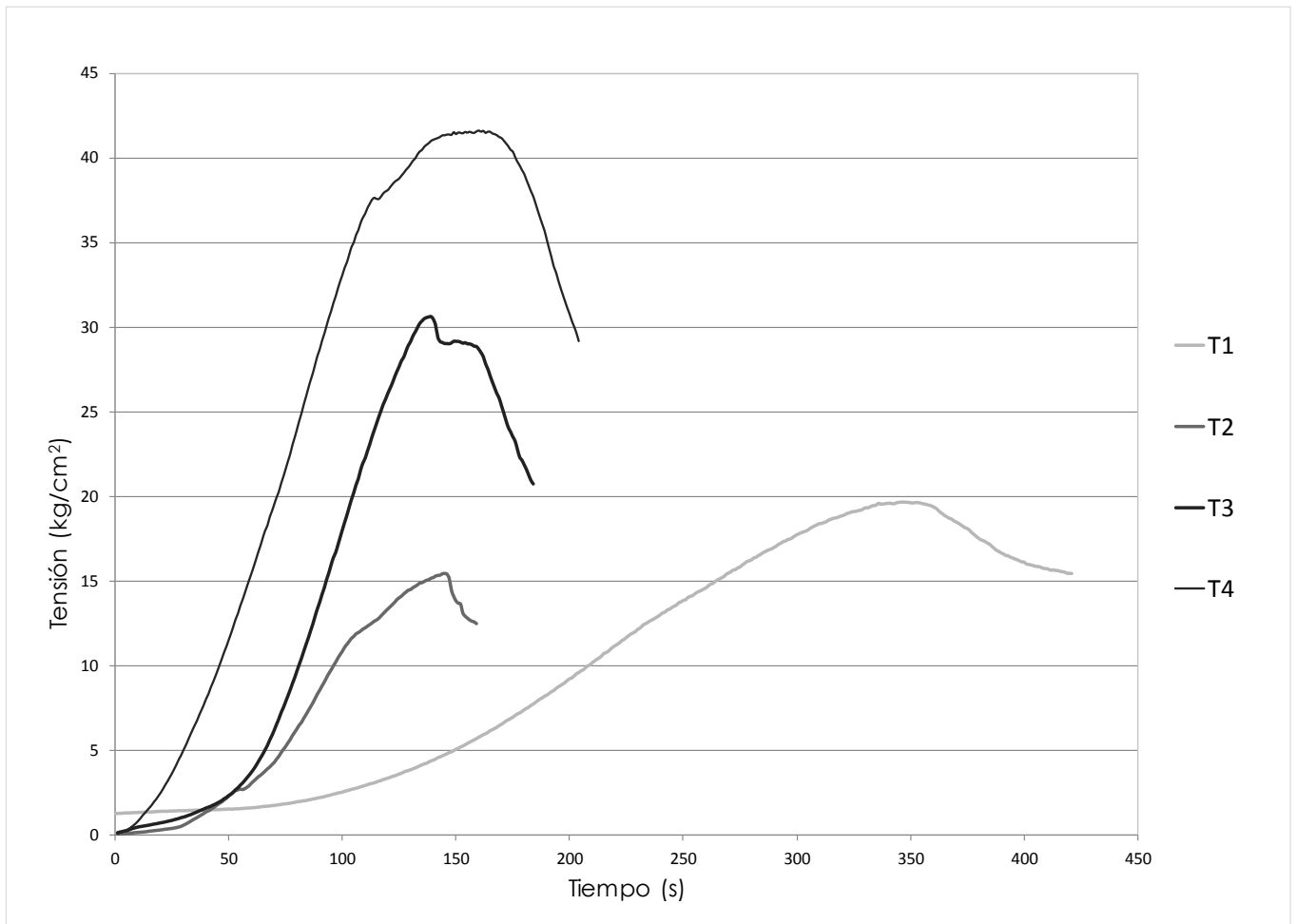
DENSIDAD MÁXIMA	2,191
HUMEDAD ÓPTIMA	6,667



8.1.5. Ensayos rotura a compresión simple

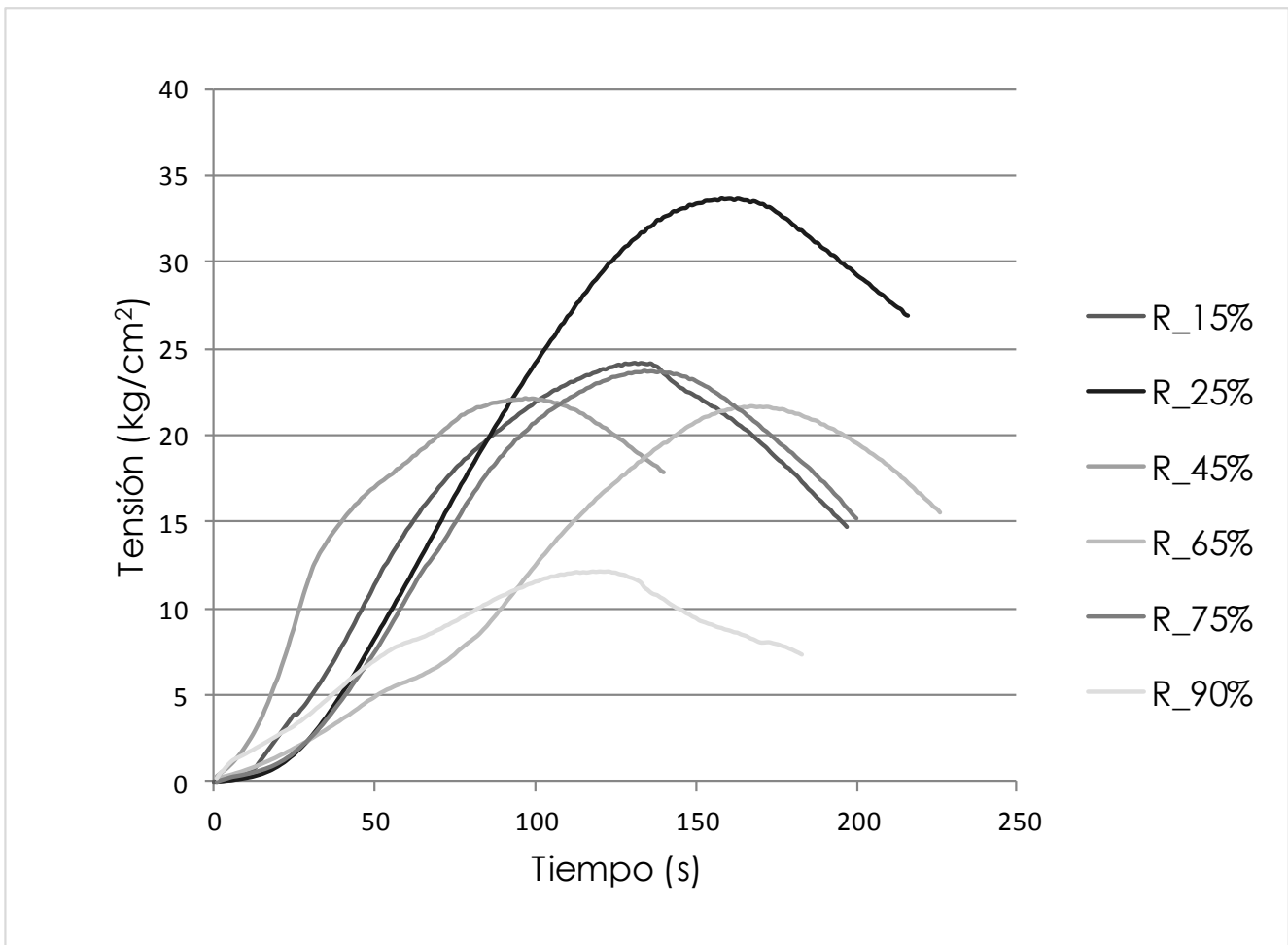
8.1.5.1. Tierra, muestra patrón

DIMENSIONES GENERALES		Diámetro: d (cm)	10,2		
		Radio: r (cm)	5,1		
		Altura: h (cm)	12,24		
Area: $A = \pi r^2$ o $0,785 d^2$ (cm ²)			78,54		
Volumen: $V = A \cdot h$ (cm ³)			1000		
PROBETA TIERRA		1	2	3	4
Referencia		T-1	T-2	T-3	T-4
t	Peso Tara	6270	6270	6270	6270
t+sl+al	tara+suelo+agua	8425	8480	8470	8515
t+sl	tara+suelo	8223,6	8291,3	8301,3	8299,5
(t+sl)-t	suelo	1953,6	2021,3	2031,3	2029,5
(t+sl+al)-(t+sl)	agua	201,4	188,7	168,7	215,5
$W1 = (al/sl) \times 100$	% HUMEDAD	10,3091728	9,33557611	8,30502634	10,6183789
Densidad seca $\rho_d = s_2/V$ (g/cm ³)	$\rho_d = s_2/V$ (g/cm ³)	1,9536	2,0213	2,0313	2,0295
Carga de rotura	en Kp (l) C	1606,4	1262	2502	3400
Tensión de rotura	en kp/cm ² (2) C/A	20,4532722	16,0682455	31,8563789	43,2900433
Resistencia a compresión simple	MPa	2,00585241	1,57581283	3,12415508	4,24545455

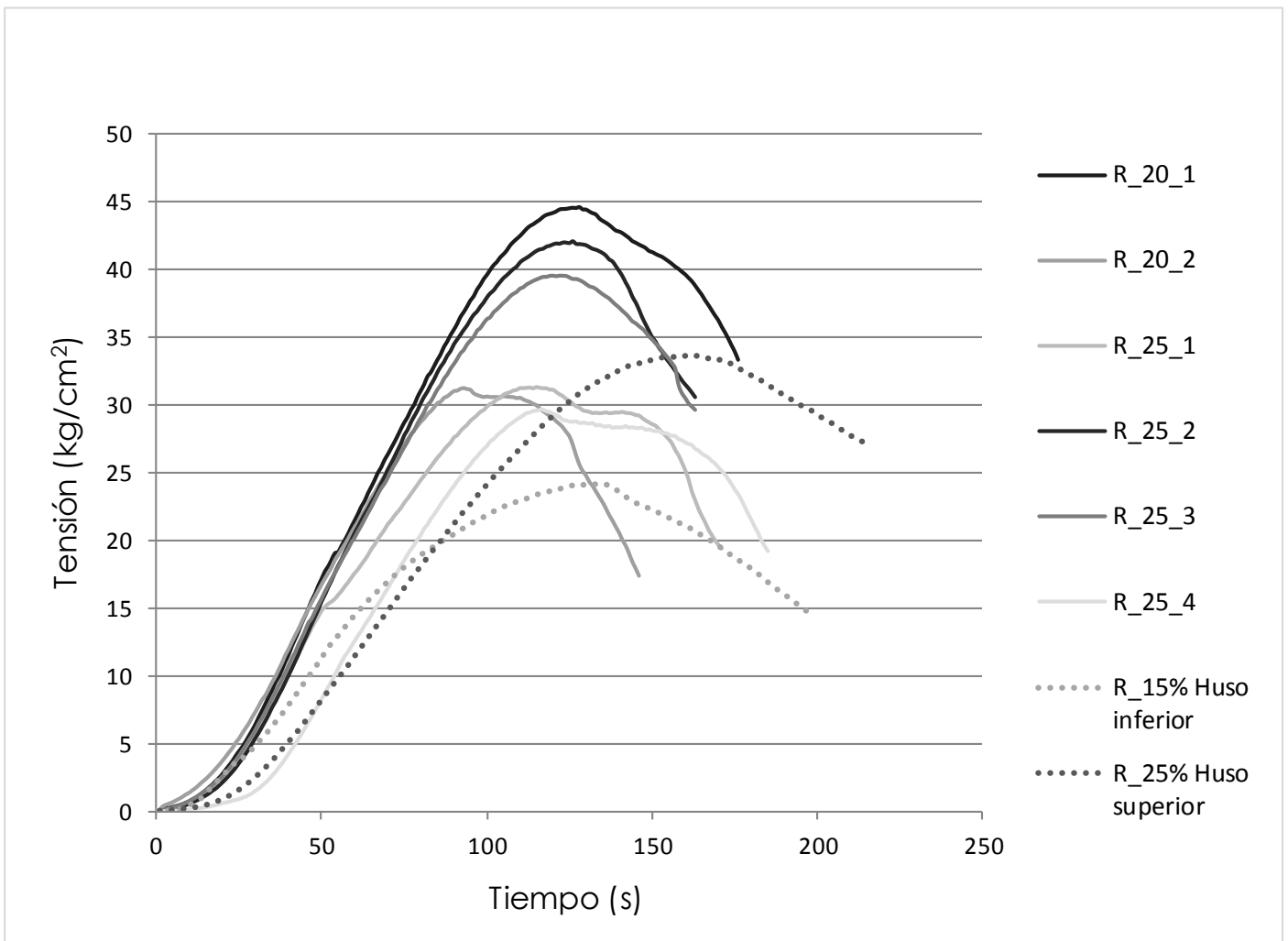


8.1.5.2. Tierra + AR

DIMENSIONES GENERALES		Diámetro: d(cm)	10,2					
		Radio: r (cm)	5,1					
		Altura: h (cm)	12,24					
Area: $A=mxn$ o $0,785 d^2$ (cm ²)			78,54					
Volumen: $V=A.h$ (cm ³)			1000					
PROBETA RCD - TIERRA			1	2	3	4	5	6
Referencia			R_15	R_25	R_45	R_65	R_75	R_90
t	Peso Tara		469,7	469,7	469,7	469,7	469,7	469,7
t+sl+al	tara+suelo+agua		2647,2	2649	2683,3	2695,2	2674,5	2560,1
t+sl	tara+suelo		2383,4	2395,3	2436,7	2441,9	2439,4	2422,8
(t+sl)-t	suelo		1913,7	1925,6	1967	1972,2	1969,7	1953,1
(t+sl+al)-(t+sl)	agua		263,8	253,7	246,6	253,3	235,1	137,3
$W1=(al/sl) \times 100$	% HUMEDAD		13,78481476	13,17511425	12,53685816	12,843525	11,93582779	7,029849982
Densidad seca $\rho_d=s2/V$ (g/cm ³)	$\rho_d=s2/V$ (g/cm ³)		1,9137	1,9256	1,967	1,9722	1,9697	1,9531
Carga de rotura	en Kp (l) C		1898	2643	1738,2	1701,7	1862,4	952,9
Tensión de rotura	en kp/cm ² (2) C/A		24,16603005	33,65164248	22,13139801	21,66666667	23,71275783	12,13267125
Resistencia a compresión simple	Mpa		2,416603005	3,365164248	2,213139801	2,166666667	2,371275783	1,213267125



DIMENSIONES GENERALES		Diámetro: d (cm)	10,2				
		Radio: r (cm)	5,1				
		Altura: h (cm)	12,24				
Area: $A = \pi r^2$ (cm ²)			78,54				
Volumen: $V = A \cdot h$ (cm ³)			1000				
PROBETA T + RCDs		R_20		R_25			
Referencia		R_20_1	R_20_2	R_25_1	R_25_2	R_25_3	R_25_4
t	Peso Tara	656,5	656,3	668,6	668,7	786,3	786,4
t+s+a	tara+suelo+agua	2884,1	2742,2	2914,1	2889,3	2983,5	2993,1
t+s	tara+suelo	2683,1	2572	2721,1	2695,4	2788,4	2792
(t+s)-t	suelo	2026,6	1915,7	2052,5	2026,7	2002,1	2005,6
(t+s+a)-(t+s)	agua	201	170,2	193	193,9	195,1	201,1
$W1 = (a/s) \times 100$	% HUMEDAD	9,918089411	8,884480869	9,40316687	9,567276854	9,744767994	10,02692461
Densidad seca $\rho_d = s_2/V$ (g/cm ³)	$\rho_d = s_2/V$ (g/cm ³)	2,0266	1,9157	2,0525	2,0267	2,0021	2,0056
Carga de rotura	en Kp (l) C	3504,9	2449,8	2460,7	3306,7	3107,3	2328,9
Tensión de rotura	en kp/cm ² (2) C/A	44,62566845	31,19174943	31,33053221	42,10211357	39,56327986	29,65240642
Resistencia a compresión simple	Mpa	4,462566845	3,119174943	3,133053221	4,210211357	3,956327986	2,965240642

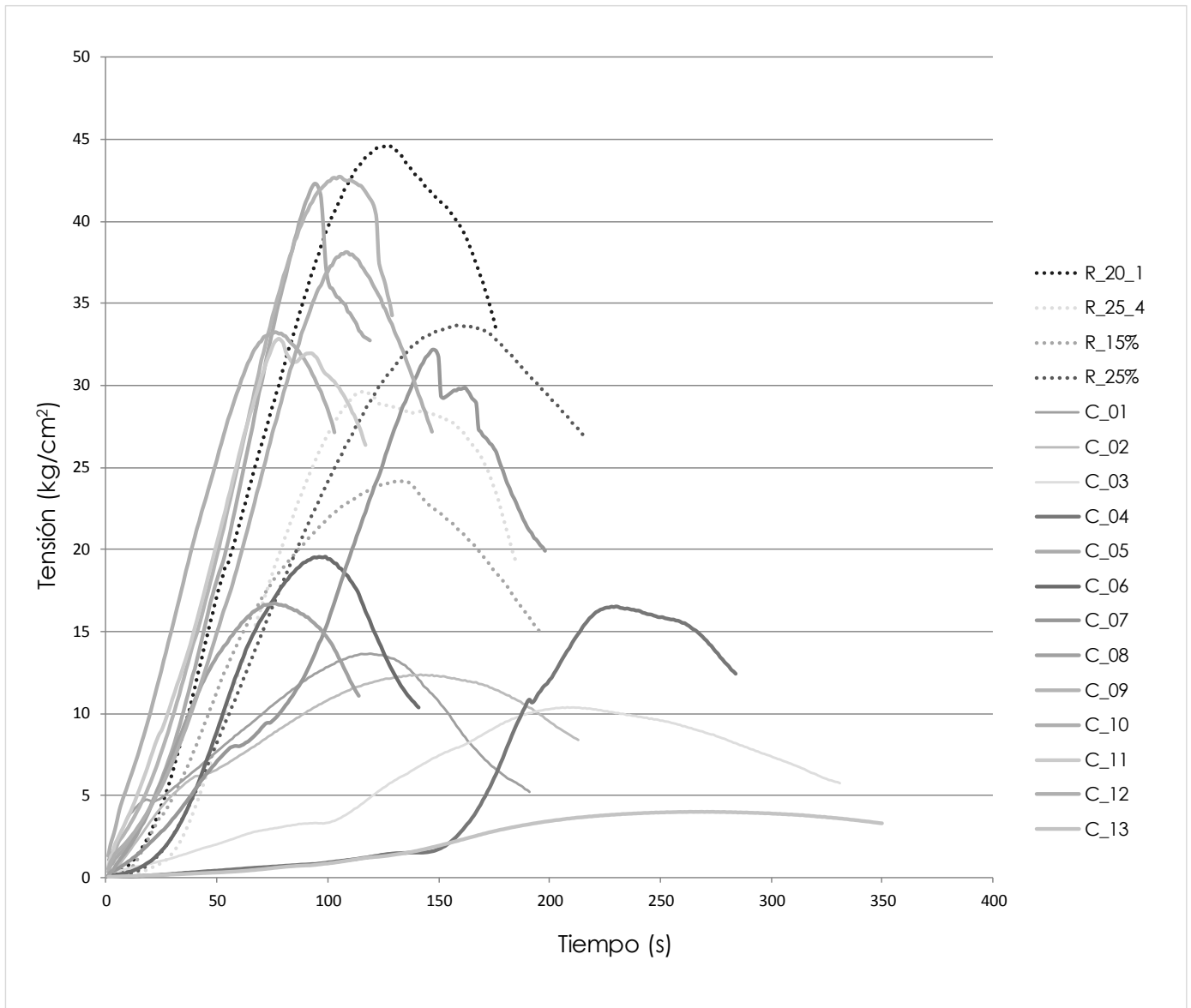


8.1.5.3. Tierra + AR + Cal + Cemento

DIMENSIONES GENERALES		Diámetro: d(cm)	10,2				
		Radio: r (cm)	5,1				
		Altura: h (cm)	12,24				
Área: A=mxn o 0,785 d ² (cm ²)		78,54					
Volumen: V=A.h (cm ³)		1000					
PROBETA T + RCDs + Cal + Cemento		1	2	3	4	5	6
Referencia		C_01	C_02	C_03	C_04	C_05	C_06
t	Peso Tara	469,8	470	469,8	420	420	675
t+s+a	tara+suelo+agua	2604,7	2620,9	2551,8	2485	2445	2745
t+s	tara+suelo	2384,2	2514,7	2433,4	2379,6	2301,8	2689,1
(t+s)-t	suelo	1914,4	2044,7	1963,6	1959,6	1881,8	2014,1
(t+s+a)-(t+s)	agua	220,5	106,2	118,4	105,4	143,2	55,9
W 1=(a/s)x100	% HUMEDAD	11,5179691	5,19391598	6,02974129	5,3786487	7,60973536	2,7754332
Densidad seca pd=s ² /V (g/cm ³)	pd=s ² /V (g/cm ³)	1,9144	2,0447	1,9636	1,9596	1,8818	2,0141
Carga de rotura	en Kp (l) C	1071,5	971,3	814,9	1297,6	3321,5	1535,4
Tensión de rotura	en kp/cm ² (2) C/A	13,6427298	12,3669468	10,3756048	16,5215177	42,2905526	19,5492743
Resistencia a compresión simple	Mpa	1,36427298	1,23669468	1,03756048	1,65215177	4,22905526	1,95492743
Referencia		C_07	C_08	C_09	C_10	C_11	C_12
t	Peso Tara	692,5	692	695,9	695,9	668,5	668,5
t+s+a	tara+suelo+agua	2753,4	2711,1	2729,1	2767,7	2752,1	2727,8
t+s	tara+suelo	2590,3	2670,6	2597,5	2580,7	2544,1	2557,7
(t+s)-t	suelo	1897,8	1978,6	1901,6	1884,8	1875,6	1889,2
(t+s+a)-(t+s)	agua	163,1	40,5	131,6	187	208	170,1
W 1=(a/s)x100	% HUMEDAD	8,59416166	2,04690185	6,92048801	9,92147708	11,0897846	9,00381114
Densidad seca pd=s ² /V (g/cm ³)	pd=s ² /V (g/cm ³)	1,8978	1,9786	1,9016	1,8848	1,8756	1,8892
Carga de rotura	en Kp (l) C	2526,7	1312,7	3355	2610,8	2579,3	2993,6
Tensión de rotura	en kp/cm ² (2) C/A	32,1708683	16,7137764	42,7170868	33,2416603	32,8405908	38,1156099
Resistencia a compresión simple	Mpa	3,21708683	1,67137764	4,27170868	3,32416603	3,28405908	3,81156099

(l) 1kp=9,807 N

(2) 1Kp/cm²=98,07 KPa



8.2. Definiciones

Los siguientes términos/definiciones han sido recogidos del Real Decreto 105/2008 por el que se regula la producción y gestión de residuos de construcción y demolición, de la Ley 22/2011 de Residuos y suelos contaminados, del PNIR (Plan Nacional Integrado de Residuos), de la Directiva 2008/98/CE y de la Comisión Europea de septiembre de 2016. Son útiles para la comprensión del presente trabajo y la relación con la normativa que les concierne.

- **Residuo:** cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar.
- **Residuo inerte:**
 - (1) Aquel residuo no peligroso que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble ni combustible, ni reacciona física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no es biodegradable, no afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes del residuo y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales o subterráneas. (Real Decreto 105/2008)
 - (2) Son residuos que no se someten a ninguna transformación física, química o biológica significativa (por ejemplo, hormigón, ladrillo, mampostería, baldosas). Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no son biodegradables, ni afectan negativamente a otros materiales con los cuales entran en contacto de forma que puedan provocar la contaminación del medio ambiente o perjudicar la salud humana. (Comisión Europea, septiembre de 2016)
- **Residuos peligrosos de construcción y demolición:**
 - (2) Residuo que presenta una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo III de la Ley 22/2011, los que tengan tal calificación de acuerdo con el artículo 66.2 de la Ley 18/2003 y los establecidos en la normativa europea o en convenios internacionales de los que España sea parte, así como los recipientes y envases que los hayan contenido.
 - (3) Se definen como escombros con propiedades peligrosas que pueden resultar perjudiciales para la salud humana o el medio ambiente. Esto comprende el suelo contaminado y dragado, materiales y sustancias que pueden incluir componentes adhesivos, sellantes o másticos (inflamables, tóxicos o irritantes), alquitrán (tóxico, cancerígeno), materiales a base de amianto que contienen fibras que pueden pasar a las vías respiratorias (tóxico, cancerígeno), madera tratada con fungicidas, pesticidas, etc. (tóxico, ecotóxico, inflamable), revestimientos halogenados ignífugos (tóxico, ecotóxico, cancerígeno), equipamiento que consta de

policlorobifenilos (ecotóxico, cancerígeno), sistemas de iluminación que contienen mercurio (tóxico, ecotóxico), sistemas con clorofluorocarbonos, material de aislamiento que contiene clorofluorocarbonos, contenedores para sustancias peligrosas (solventes, pinturas, adhesivos, etc.) y el embalaje de residuos que puedan haber sido contaminados. (Comisión Europea, septiembre de 2016)

- **Residuos no peligrosos:** aquellos residuos no incluidos en la definición de residuo peligroso dada en el Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición ni en la de la Directiva Marco (Directiva 2008/98/CE; Comisión Europea de septiembre del 2016)

- **Obra de construcción o demolición:** la actividad consistente en:
 1. La construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, tal como un edificio, carretera, puerto, aeropuerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, así como cualquier otro análogo de ingeniería civil.
 2. La realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o del subsuelo, tales como excavaciones, inyecciones, urbanizaciones u otros análogos, con exclusión de aquellas actividades a las que sea de aplicación la Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas.

Se considerará parte integrante de la obra toda instalación que dé servicio exclusivo a la misma, y en la medida en que su montaje y desmontaje tenga lugar durante la ejecución de la obra o al final de la misma, tales como: plantas de machaqueo, plantas de fabricación de hormigón, grava-cemento o suelo-cemento, plantas de prefabricados de hormigón, plantas de fabricación de mezclas bituminosas, talleres de fabricación de encofrados, talleres de elaboración de ferralla, almacenes de materiales y almacenes de residuos de la propia obra y plantas de tratamiento de los residuos de construcción y demolición de la obra.

- **Obra menor de construcción o reparación domiciliaria:** obra de construcción o demolición en un domicilio particular, comercio, oficina o inmueble del sector servicios, de sencilla técnica y escasa entidad constructiva y económica, que no suponga alteración del volumen, del uso, de las instalaciones de uso común o del número de viviendas y locales, y que no precisa de proyecto firmado por profesionales titulados.

- **Productor de residuos de construcción y demolición:**
 1. La persona física o jurídica titular de la licencia urbanística en una obra de construcción o demolición. En aquellas obras que no precisen de licencia urbanística, tendrá la consideración de productor del residuo la persona física o jurídica titular del bien inmueble objeto de una obra de construcción o demolición.

2. La persona física o jurídica que efectúe operaciones de tratamiento, de mezcla o de otro tipo, que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de los residuos.
 3. El importador o adquirente en cualquier Estado miembro de la Unión Europea de residuos de construcción y demolición.
- **Poseedor de residuos de construcción y demolición:** la persona física o jurídica que tenga en su poder los residuos de construcción y demolición y que no ostente la condición de gestor de residuos.
En todo caso, tendrá la consideración de poseedor la persona física o jurídica que ejecute la obra de construcción o demolición, tales como las personas constructoras, subcontratistas o trabajadoras autónomas.
En todo caso, no tendrán la consideración de poseedor de residuos de construcción y demolición quienes trabajen por cuenta ajena en la correspondiente obra.
 - **Gestión de residuos:** la recogida, el almacenamiento, el transporte y tratamiento de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones, así como la clausura y el mantenimiento posterior al cierre de los vertederos, incluidas las actuaciones realizadas en calidad de negociante o agente.
 - **Gestor de residuos:** la persona o entidad pública o privada, registrada mediante autorización o comunicación, que realice cualquiera de las operaciones que componen la gestión de los residuos, sea o no el productor de los mismos.
 - **Agente:** toda persona física o jurídica que organiza la valorización o la eliminación de residuos por encargo de terceros, incluidos los agentes que no tomen posesión físicamente de los residuos.
 - **Prevención:** conjunto de medidas adoptadas en la fase de concepción y diseño, de producción, de distribución y de consumo de una sustancia, material o producto, para reducir:
 1. La cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de la vida útil de los productos.
 2. Los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana de los residuos generados, incluyendo el ahorro en el uso de materiales o energía.
 3. El contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.
 - **Preparación para la reutilización:** la operación de valorización consistente en la comprobación, limpieza o reparación, mediante la cual productos o componentes de productos que se hayan convertido en residuos se preparan para que puedan reutilizarse sin ninguna otra transformación previa.
 - **Reutilización:** cualquier operación mediante la cual productos o componentes de productos que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para que fueron concebidos.

- **Tratamiento:** las operaciones de valorización o eliminación, incluida la preparación anterior a la valorización o eliminación.
- **Tratamiento previo:** proceso físico, térmico, químico o biológico, incluida la clasificación, que cambia las características de los residuos de construcción y demolición reduciendo su volumen o su peligrosidad, facilitando su manipulación, incrementando su potencial de valorización o mejorando su comportamiento en el vertedero.
- **Almacenamiento:** el depósito temporal de residuos, con carácter previo a su valorización o eliminación, durante el tiempo establecido en la normativa básica u otro inferior fijado reglamentariamente para cada tipo de residuo y operación.
- **Recogida:** operación consistente en el acopio de residuos, incluida la clasificación y almacenamiento iniciales para su transporte a una instalación de tratamiento.
- **Recogida separada:** la recogida en la que un flujo de residuos se mantiene por separado, según su tipo y naturaleza, para facilitar un tratamiento específico.
- **Reciclado:** toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.
- **Valorización:** cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general.
- **Eliminación:** cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía.
- **Plantas de transferencia:** son instalaciones para el depósito temporal de residuos de la construcción que han de ser tratados o eliminados en instalaciones localizadas a cierta distancia. Su cometido principal es agrupar residuos y abaratar costes de transporte, si bien en ocasiones se efectúa en ellas algún proceso menor de selección y clasificación de las fracciones de los residuos, buscando mejorar las características de los RCD enviados a plantas de tratamiento y a vertederos.
- **Plantas de tratamiento:** son instalaciones de tratamiento de RCD, cuyo objetivo es seleccionar, clasificar y valorizar las diferentes fracciones que contienen

estos residuos, con el objetivo de obtener productos finales aptos para su utilización directa, o residuos cuyo destino será otro tratamiento posterior de valorización o reciclado, y si este no fuera posible, de eliminación en vertedero. Pueden ser fijas o móviles.

- **Plantas fijas:** son instalaciones de reciclaje ubicadas en un emplazamiento cerrado, con autorización administrativa para el reciclaje de RCD, cuya maquinaria de reciclaje (fundamentalmente los equipos de trituración) son fijos y no operan fuera del emplazamiento donde están ubicados.
- **Plantas móviles:** están constituidas por maquinaria y equipos de reciclaje móviles que se desplazan a las obras para reciclar en origen o a centros de valorización o eliminación para operar temporalmente en dichas ubicaciones.
- **Vertederos controlados:** son instalaciones para el depósito definitivo de RCD (por encima de los plazos establecidos en la legislación de vertederos) y que deben cumplir los requisitos del RD 1481/2001 que les sea de aplicación.
- **Código LER:** código de 6 dígitos para identificar un residuo según la Orden MAM/304/202.

8.3. Marco Legislativo

8.3.1. Ámbito Europeo

- DIRECTIVA (1UE) 2018/851 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos.
- DIRECTIVA (UE) 2018/850 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos.
- DIRECTIVA 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
- ORDEN MAM/304/2002, 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Decisión de la Comisión 2000/532/CE, que establece una lista de residuos de conformidad con la Directiva 75/442/CEE, y sus modificaciones, efectuadas mediante la decisión de la comisión 2001/119/CE.
- Decisión 738/2000 “Aplicación de la Directiva 1999/31”.
- Directiva 1999/31 “Vertido de Residuos”.
- Directiva 1996/61 “Prevención y Control integrados de la Contaminación –IPPC”.

8.3.2. Ámbito Nacional

- ORDEN APM/1007/2017, de 10 de octubre, sobre normas generales de valorización de materiales naturales excavados para su utilización en operaciones de relleno y obras distintas a aquéllas en las que se generaron. Inerte adecuado.
- PEMAR (Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos) 2016-2022.
- REAL DECRETO 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.
- LEY 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- PNIR (Plan Nacional Integrado de Residuos) 2008-2015, de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros.

- REAL DECRETO 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- PNRCDD (Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición) 2008-2011.
- REAL DECRETO 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- Decisión de la Comisión, de 22 de enero de 2001, que modifica la Decisión 2000/532/CE de 3 de mayo de 2000.

8.3.3. Ámbito Autonómico

- DECRETO 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía.
- DECRETO 7/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos de Andalucía 2012-2020.
- DECRETO 397/2010, de 2 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Director Territorial de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019.
- LEY 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Decreto 104/00, de Autorizaciones Ambientales de actividades de valorización y eliminación de residuos plásticos agrícolas.
- Decreto 218/99, Aprobación del Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos.
- Acuerdo 1082/34, Servicio de eliminación en la Zona de los Alcores.
- Acuerdo 9/3/34, gestión de la zona del Guadalquivir.
- Ley 7/94, de Protección Ambiental.
- Decreto 283/95, Reglamento de Residuos.
- Acuerdo 9/12/97, formulación del Plan Director Territorial de Gestión de Residuos.

8.4. Modelo de Gestión

8.4.1. Fases de modelo de gestión

1 PROCESO PREVIO A LA DEMOLICIÓN / AUDITORÍA

- Identificación de los residuos
 - 1) Clase
 - 2) Cantidad / Masa
 - 3) Volumen
 - 4) Calidad
- Separación / Clasificación en función de:
 - 1) Peligrosidad
 - 2) Reutilizable
 - 3) Reciclaje
 - 4) Desechados / Eliminados
 - 5) Formas de gestión

El proceso previo a la demolición tiene por objetivo responder a la pregunta de qué productos nos encontramos al iniciar un proyecto de construcción. Para realizar una auditoría previa a la demolición es necesario identificar, especificar, cuantificar y describir todos los aspectos descritos anteriormente, y para ello se requiere un técnico cualificado capaz de hacer un registro exhaustivo.

2 PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS / PROYECTO TÉCNICO DE DERRIBO

- Materiales que se recogen de forma selectiva
- Volumen / Tipo de contenedores
- Medios de transporte / Recorrido (origen y destino)
- Repercusiones medioambientales
- Protección y seguridad
- Tratamientos de residuos peligrosos y no peligrosos
 - 1) Limpieza
 - 2) Reciclaje
 - 3) Reutilización
 - 4) Incineración
 - 5) Eliminación
 - 6) Investigación
- Supervisión y controles

El proyecto técnico responde al cómo voy a llevar a cabo la gestión de residuos. Es fundamental que las actividades de demolición se ejecuten conforme a un plan. Para ello se deben tener en cuenta los aspectos citados anteriormente. Es recomendable que se lleve a cabo con un agente que supervise todas las fases planteadas.

3 MEJORA DE LA SEPARACIÓN EN ORIGEN / DEMOLICIÓN SELECTIVA

Para efectuar una adecuada demolición selectiva debemos llevar a cabo las siguientes medidas:

- Eliminación de los residuos peligrosos. Realizar al inicio de la demolición. Fase conocida como descontaminación de la obra.
- Demoler y desmantelar de forma selectiva.
- Separar los materiales durante el proceso de construcción y evitar su mezclado para garantizar la calidad de los materiales reciclados y de los áridos.
- Minimizar el material de envasado y embalaje.
- Operaciones in situ: zonas verdes, negocios y residentes en las cercanías, otros proyectos.
- Ser poseedor de los permisos o licencias requeridas.

4 LOGÍSTICA DE RESIDUOS

El objetivo de esta fase es facilitar los medios necesarios para llevar a cabo las tareas de clasificación, transporte, almacenaje, etc., conservando los residuos en el mejor estado posible. Posibles medidas:

- Rastreado y trazado de los materiales para su posterior registro y etiquetado.
- Proporcionar la documentación necesaria a todos los intervinientes en este proceso constructivo.
- Utilizar la lista europea de residuos para una división adecuada de materiales y para garantizar la compatibilidad de los datos en la UE.
- Reducción de las distancias de transporte.
- Utilizar centros de transferencia de residuos, servicios de clasificación de residuos o reciclaje.
- Garantizar la integridad de los materiales durante su traslado.
- Almacenamiento y mantenimiento correcto.
- Medidas medioambientales: minimizar emisiones contaminantes.

5 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE DERRIBO

- Planificación adecuada de las actividades y procesos de gestión de residuos.
- Jerarquía de residuos.
- Clasificar los residuos según su valor económico.
- Reciclar: in situ o en emplazamientos cercanos dentro de lo posible.
- Considerar la recuperación energética para aquellos materiales que no puedan reutilizarse ni reciclarse.

6 REUTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS

- Reutilizar siempre que sea posible, reduce los perjuicios medioambientales y reduce el consumo energético.
- Existen multitud de aplicaciones para la reutilización de materiales: fachadas, estructuras, divisiones interiores, cubiertas, etc.

La reutilización es un proceso que favorece la disminución del consumo energético. Siempre que sea factible deberíamos adoptar iniciativas que promuevan la reutilización.

7 VALORIZACIÓN DE LOS RCD COMO ÁRIDO RECICLADO

- Naturaleza del RCD, normalmente se clasifica en tres clases con tres grados de contaminación (limpio, sucio, muy sucio): de hormigón, mixto o asfáltico.
- Esfuerzo económico para tratar los residuos.
- Acopio del material en diferentes zonas para su posterior tratamiento.
- Tratamientos: manuales o mecánicos.

Para darle valor a un árido primero debemos procesarlo, tratarlo, limpiarlo y clasificarlo. Es entonces cuando podremos hablar de la composición de los áridos y de qué porcentajes posee de cada tipo. De esta manera estamos recuperando materiales que podemos procesar o no para nuevas aplicaciones.

8 GESTIÓN Y GARANTÍA DE CALIDAD

La gestión y garantía de calidad es un proceso complementario a todas las fases para garantizar la correcta ejecución de todas ellas. Además, proporciona un valor cualitativo extra a todos los materiales reciclados así como la confianza en la calidad.

- Introducir controles de gestión y de garantía en todas las etapas posibles.
- Usar sistemas de gestión de calidad: ISO 9000 (compuesta por ISO 9001, ISO 9004, ISO 9000), ISO 14001, EMAS, modelo EFQM, etc.
- Utilizar como primer recurso las normas europeas del reciclado de materiales. En nuestro caso las aplicables a los productos-residuos de construcción y demolición (RCD).

9 NUEVOS PRODUCTOS / APLICACIONES

Existen numerosas aplicaciones de los residuos de construcción y demolición, algunas de estas son a día de hoy técnicas o materiales que empresas están proveyendo como productos de construcción, mencionadas en la línea del tiempo, pero muchas de ellas no han pasado de ser estudios teóricos y trabajos experimentales de laboratorio. Estos resultados, fruto de un trabajo exhaustivo y minucioso, son el reflejo de que es posible dar uso a los residuos, que tan abundantes son hoy en día.

A continuación presento una plantilla de trabajo para la gestión de los RCDs resultado de mis modificaciones a la utilizada durante mis prácticas de empresa realizadas en la Diputación de Granada a través del programa Ícaro, así como el Pliego de prescripciones técnicas utilizado en la misma.

8.4.2. Modelos de trabajo. Formulario

0. DATOS DE LA OBRA

Tipo de obra	
Emplazamiento	
Fase de proyecto	
Técnico redactor	
Productor de residuos	
Dirección facultativa	
Director de obra	
Director de la ejecución de obra	
Coordinador de seguridad y salud	

1. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE RCDs QUE SE GENERARÁN EN LA OBRA

1a. Estimación cantidades totales

Tipo de obra	Superficie construida (m2)	Coeficiente (m3/m2)	Volumen total (m3)	Peso total (t)
Nueva construcción				
Demolición				
Reforma				
Total				

Volumen de Tierras no reutilizadas de las excavaciones	
--	--

1b. Estimación cantidades por tipo RCDs, codificados según LER

Peso total RCDs			
RESIDUOS NO PELIGROSOS			
Código LER	Tipo de RCD	% s/ totales	Peso (t)
17 01 01	Hormigón		
17 01 02 ; 17 01 03	Ladrillos, tejas y materiales ceramicos		
17 02 01	Madera		
17 02 02	Vidrio		
17 02 03	Plástico		
17 04 07	Metales mezclados		
17 08 02	Materiales construcción a base de yeso no contaminados con sustancias peligrosas		
20 01 01	Papel y cartón		
17 09 04	Otros RCDs mezclados que no contengan mercurio, PCB o sustancias peligrosas		

RESIDUOS PELIGROSOS			
Código LER	Tipo de RCD	Peso	Volumen

2. MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN DE RESIDUOS EN LA OBRA OBJETO DEL PROYECTO

Todos los agentes intervinientes en la obra deberán conocer sus obligaciones en relación con los residuos y cumplir las órdenes y normas dictadas por la Dirección Técnica
Se deberá optimizar la cantidad de materiales necesarios para la ejecución de la obra. Un exceso de materiales es origen de más residuos sobrantes de ejecución
Se preverá el acopio de materiales fuera de zonas de tránsito de la obra, de forma que permanezcan bien embalados y protegidos hasta el momento de su utilización
Si se realiza la clasificación de los residuos se dispondrán los contenedores más adecuados para cada tipo de material sobrante. La separación selectiva se realizará en el momento que se originen los residuos.
Los contenedores, sacos, depósitos y demás recipientes de almacenaje y transporte de los RCDs deberán estar debidamente etiquetados
Se dispondrá en obra de maquinaria para el machaqueo de residuos pétreos con el fin de fabricar áridos reciclados
Se impedirá que los RCDs líquidos y orgánicos se mezclen con otros y los contaminen. Deberán depositar en contenedor o depósito adecuado

3. OPERACIONES DE REUTILIZACIÓN, VALORIZACIÓN O ELIMINACIÓN DE RCDs

3a. REUTILIZACIÓN DE RCDs

Código	Las tierras procedentes de la excavación se reutilizarán para
Código	Se reutilizarán los siguientes materiales
Código	Otras

3b. VALORIZACIÓN Y ELIMINACIÓN RCDs

RESIDUOS NO PELIGROSOS			
Codigo LER	Tipo de RCD	Operación en obra	Tratamiento y destino
17 01 01	Hormigón		
17 01 02 ; 17 01 03	Ladrillos, tejas y materiales ceramicos		
17 02 01	Madera		
17 02 02	Vidrio		
17 02 03	Plástico		
17 04 07	Metales mezclados		
17 08 02	Materiales construcción a base de yeso		
20 01 01	Papel y cartón		
17 09 04	Otros RCDs mezclados		

RESIDUOS PELIGROSOS			
Codigo LER	Tipo RCD	Operación en obra	Tratamiento y destino

4. MEDIDAS PARA LA SEPARACIÓN DE RCDs EN OBRA

El poseedor de RCDs (contratista) separará los siguientes residuos

	En obra	Agente externo
Hormigón		
Ladrillos, tejas y materiales ceramicos		
Madera		
Vidrio		
Plástico		
Metales mezclados		
Papel y cartón		
Otros		

Al no superarse los valores límites establecidos en el RD 105/2008, no se separarán los RCDs in situ. El poseedor de residuos o un agente externo se encargará de la recogida y transporte para su posterior tratamiento en planta

5. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES EN RELACIÓN CON EL ALMACENAMIENTO, MANEJO Y SEPARACIÓN DE LOS RCDs DENTRO DE LA OBRA

Las siguientes prescripciones se modificarán y ampliarán con las que el técnico redactor considere oportunas.

EVACUACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCDs).

- La evacuación de escombros, se podrá realizar de las siguientes formas:
 - Apertura de huecos en forjados, coincidentes en vertical con el ancho de un entrevigado y longitud de 1 m. a 1,50 m., distribuidos de tal forma que permitan la rápida evacuación de los mismos. Este sistema sólo podrá emplearse en edificios o restos de edificios con un máximo de dos plantas y cuando los escombros sean de tamaño manejable por una persona.
 - Mediante grúa, cuando se disponga de un espacio para su instalación y zona para descarga del escombros.
 - Mediante canales. El último tramo del canal se inclinará de modo que se reduzca la velocidad de salida del material y de forma que el extremo quede como máximo a 2 m. por encima del suelo o de la plataforma del camión que realice el transporte. El canal no irá situado exteriormente en fachadas que den a la vía pública, salvo su tramo inclinado inferior, y su sección útil no será superior a 50 x 50 cm. Su embocadura superior estará protegida contra caídas accidentales.
 - Lanzando libremente el escombros desde una altura máxima de dos plantas sobre el terreno, si se dispone de un espacio libre de lados no menores de 6 x 6 m.
 - Por desescombrado mecanizado. La máquina se aproximará a la medianería como máximo la distancia que señale la documentación técnica, sin sobrepasar en ningún caso la distancia de 1 m. y trabajando en dirección no perpendicular a la medianería.
 - El espacio donde cae escombros estará acotado y vigilado. No se permitirán hogueras dentro del edificio, y las hogueras exteriores estarán protegidas del viento y vigiladas. En ningún caso se utilizará el fuego con propagación de llama como medio de demolición.
- Se protegerán los huecos abiertos de los forjados para vertido de escombros.

- Se señalizarán las zonas de recogida de escombros.
- El conducto de evacuación de escombros será preferiblemente de material plástico, perfectamente anclado, debiendo contar en cada planta de una boca de carga dotada de faldas.
- El final del conducto deberá quedar siempre por debajo de la línea de carga máxima del contenedor.
- El contenedor deberá cubrirse siempre por una lona o plástico para evitar la propagación del polvo.
- Durante los trabajos de carga de escombros se prohibirá el acceso y permanencia de operarios en las zonas de influencia de las máquinas (palas cargadoras, camiones, etc.)
- Nunca los escombros sobrepasarán los cierres laterales del receptáculo (contenedor o caja del camión), debiéndose cubrir por una lona o toldo o, en su defecto, se regarán para evitar propagación del polvo en su desplazamiento hacia vertedero.

CARGA Y TRANSPORTE DE RCDs

- Toda la maquinaria para el movimiento y transporte de tierras y escombros (camión volquete, pala cargadora, dumper, etc.), serán manejadas por personal perfectamente adiestrado y cualificado.
 - Nunca se utilizará esta maquinaria por encima de sus posibilidades. Se revisarán y mantendrán de forma adecuada. Con condiciones climatológicas adversas se extremará la precaución y se limitará su utilización y, en caso necesario, se prohibirá su uso.
 - Si existen líneas eléctricas se eliminarán o protegerán para evitar entrar en contacto con ellas.
 - Antes de iniciar una maniobra o movimiento imprevisto deberá avisarse con una señal acústica.
 - Ningún operario deberá permanecer en la zona de acción de las máquinas y de la carga.
- Solamente los conductores de camión podrán permanecer en el interior de la cabina si ésta dispone de visera de protección.
- Nunca se sobrepasará la carga máxima de los vehículos ni los laterales de cierre.
 - La carga, en caso necesario, se asegurará para que no pueda desprenderse durante el transporte.
 - Se señalizarán las zonas de acceso, recorrido y vertido.
 - El ascenso o descenso de las cabinas se realizará utilizando los peldaños y asideros de que disponen las máquinas. Éstos se mantendrán limpios de barro, grasa u otros elementos que los hagan resbaladizos.
 - En el uso de palas cargadoras, además de las medidas reseñadas se tendrá en cuenta:
 - El desplazamiento se efectuará con la cuchara lo más baja posible.
 - No se transportarán ni izarán personas mediante la cuchara.
 - Al finalizar el trabajo la cuchara deberá apoyar en el suelo.
 - En el caso de dumper se tendrá en cuenta:
 - Estarán dotados de cabina antivuelco o, en su defecto, de barra antivuelco. El conductor usará cinturón de seguridad.
 - No se sobrecargará el cubilote de forma que impida la visibilidad ni que la carga sobresalga lateralmente.

- Para transporte de masas, el cubilote tendrá una señal de llenado máximo.
 - No se transportarán operarios en el dumper, ni mucho menos en el cubilote.
 - En caso de fuertes pendientes, el descenso se hará marcha atrás.
 - Se organizará el tráfico determinando zonas de trabajo y vías recirculación.
 - Cuando en las proximidades de una excavación existan tendidos eléctricos con los hilos desnudos, se deberá tomar alguna de las siguientes medidas:
 - Desvío de la línea.
 - Corte de la corriente eléctrica.
 - Protección de la zona mediante apantallados.
 - Se guardarán las máquinas y vehículos a una distancia de seguridad determinada en función de la carga eléctrica.
 - En caso de que la operación de descarga sea para la formación de terraplenes, será necesario el auxilio de una persona experta para evitar que al acercarse el camión al borde del terraplén, éste falle o que el vehículo pueda volcar. Por ello es conveniente la colocación de topes, a una distancia igual a la altura del terraplén y, como mínimo, 2 m.
 - Se acotará la zona de acción de cada máquina en su tajo. Cuando sea marcha atrás o el conductor esté falto de visibilidad, estará auxiliado por otro operario en el exterior del vehículo. Se extremarán estas precauciones cuando el vehículo o máquina cambie de tajo y/o se entrecrucen itinerarios
 - En la operación de vertido de materiales con camiones, un auxiliar se encargará de dirigir la maniobra con objeto de evitar atropellos a personas y colisiones con otros vehículos.
 - Para transportes de tierras situadas a niveles inferiores a la cota 0, el ancho mínimo de la rampa será de 4,50 m., en ensanchándose en las curvas, y sus pendientes no serán mayores del 12% o del 8%, según se trate de tramos rectos o curvos respectivamente. En cualquier caso, se tendrá en cuenta la maniobrabilidad de los vehículos utilizados.
 - Los vehículos de carga, antes de salir a la vía pública, contarán con un tramo horizontal de terreno consistente, de longitud no menor a vez y media la separación entre ejes, ni inferior a 6 m.
 - Las rampas para el movimiento de camiones y/o máquinas conservarán el talud lateral que exija el terreno.
 - La carga, tanto manual como mecánica, se realizará por los laterales del camión o por la parte trasera. Si se carga el camión por medios mecánicos, la pala no pasará por encima de la cabina.
- Cuando sea imprescindible que un vehículo de carga, durante o después del vaciado, se acerque al borde del mismo, se dispondrán topes de seguridad, comprobándose previamente la resistencia del terreno al peso del mismo.

ALMACENAMIENTO DE RCDs.

Para los caballeros o depósitos de tierras en obra se tendrá en cuenta lo siguiente:

- El material vertido en caballeros no se podrá colocar de forma que represente un peligro para construcciones existentes, por presión directa o por sobrecarga sobre el terreno contiguo.
- Deberán tener forma regular.

- Deberán situarse en los lugares que al efecto señale la dirección facultativa, y se cuidará de evitar arrastres hacia la zona de excavación o las obras de desagüe y no obstaculizará las zonas de circulación.
- No se acumularán terrenos de excavación junto al borde del vaciado, separándose del mismo una distancia igual o mayor a dos veces la profundidad del vaciado.
- Cuando el terreno excavado pueda transmitir enfermedades contagiosas, se desinfectará antes de su transporte y no podrá utilizarse, en este caso, como terreno de préstamo, debiendo el personal que lo manipula estar equipado adecuadamente.
- Los acopios de cada tipo de material se formarán y explotarán de forma que se evite su segregación y contaminación, evitándose una exposición prolongada del material a la intemperie, formando los acopios sobre superficies no contaminantes y evitando las mezclas de materiales de distintos tipos.
- Si se prevé la separación de residuos en obra, éstos se almacenarán, hasta su transporte a planta de valorización, en contenedores adecuados, debidamente protegidos y señalizados.
- El responsable de obra adoptará las medidas necesarias para evitar el depósito de residuos ajenos a la obra.

6. VALORACIÓN DEL COSTE DE GESTIÓN DE RCDs

Tipo de Residuo	Volumen	Coste Gestión	Total
Residuos de Construcción y Demolición			
Tierras no reutilizadas			
Total Coste Gestión RCDs			

OBSERVACIONES:

1. Este Estudio de Gestión de Residuos debe considerarse de carácter de orientativo, toda vez que en el momento de su redacción, con el Proyecto Básico o de Ejecución, no se dispone de los datos mínimos necesarios respecto de los materiales y sistemas constructivos que se utilizarán en obra
2. El Productor de residuos, al inicio de la obra, debe requerir al constructor para que redacte el Plan de Gestión de Residuos, a que hace referencia el R.D. 105/2008, sobre la base de la realidad de la obra

En Granada, día / mes / año

Fdo.....