



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD DE INGENIERIA**  
en acción continua...

## **PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA**

ALUMNO: Nicolás Esteban Priolo

LEGAJO: 11744

CARRERA: Ingeniería Civil

PROYECTO: Actividad de Transferencia y Proyecto de Innovación

EMPRESA O INSTITUCIÓN: CEIRS

TUTOR DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN: Dra. Irma Teresa Mercante

PERIODO DE PRÁCTICA: 16/05/2022 – 08/07/2022 y 26/07/2022 –  
31/08/2022

AÑO: 2022

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. CENTRO DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE RESIDUOS SÓLIDOS .....	4
3. OBJETIVOS DE LAS PRÁCTICAS .....	4
4. DESARROLLO .....	5
4.1. ACTIVIDAD DE TRANSFERENCIA: PROYECTO DE VERTEDERO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN .....	5
4.1.1 Descripción general del proyecto.....	5
4.1.2. Descripción del sitio de emplazamiento del vertedero .....	7
4.1.3. Actividades realizadas en la elaboración del proyecto “Vertedero de RCD” .....	13
4.2. PROYECTO DE INNOVACION: ELABORACIÓN DE MEZCLAS CEMENTICIAS CON ADICIÓN DE PET TRITURADO OBTENIDO A PARTIR DE FLEJES RESIDUALES PARA LA EMPRESA MENDOCINA BARESI S.R.L. ....	36
4.2.1 Actividades realizadas para realizar el proyecto de innovación .....	36
4.3. OTRAS ACTIVIDADES EN EL CEIRS .....	49
4.3.1 Visita al centro de separación <i>Centro Verde de Guaymallén</i> .....	50
4.3.2 Visita a la empresa recicladora de RAEE <i>Reciclarg</i> .....	51
4.3.3 Visita a la empresa recicladora de residuos plásticos <i>Baresi</i> .....	52
5. RESULTADOS OBTENIDOS .....	55
5.1 RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD DE TRANSFERENCIA.....	55
5.2 RESULTADOS DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN .....	55
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
6.1. ACERCA DE LOS PROYECTOS REALIZADOS .....	56
6.1.1. Sobre la actividad de transferencia .....	56
6.1.2. Sobre el proyecto de innovación.....	56
6.2. ACERCA DE LOS RESIDUOS .....	57
6.2.1. Conclusión general sobre el manejo de los residuos sólidos .....	57
6.2.2. Conclusión sobre cada tipo de residuo investigado y observado en el periodo de prácticas .....	57
6.3. ACERCA DE LAS PRÁCTICAS .....	57
BIBLIOGRAFÍA .....	58

## 1. INTRODUCCIÓN

El informe que se presenta a continuación tiene como objetivo explicar el trabajo realizado por el alumno de la carrera de ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo. Nicolás Esteban Priolo, durante su Práctica Profesional Supervisada (PPS). La misma se llevó a cabo en el área: Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos (CEIRS) del Instituto del Medio Ambiente (IMA) a cargo de la Dra. Ing. Irma Mercante.

La práctica se llevó a cabo desde el día 16 de mayo hasta el día 8 de julio, y desde el día 26 de julio hasta el 31 de agosto del año 2022 acumulando un total de 300 horas de trabajo.

Los trabajos realizados en el CEIRS fueron dos y se nombran a continuación:

1. *ACTIVIDAD DE TRANSFERENCIA: PROYECTO DE VERTEDERO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN*
2. *PROYECTO DE INNOVACION: ELABORACIÓN DE MEZCLAS CEMENTICIAS CON ADICIÓN DE PET TRITURADO OBTENIDO A PARTIR DE FLEJES RESIDUALES PARA LA EMPRESA MENDOCINA BARESI S.R.L.*

Las prácticas profesionales supervisadas se dieron principalmente en dos lugares muy distintos entre sí: en el sitio de emplazamiento del vertedero (actividad de transferencia) y en la oficina y laboratorio del CEIRS (proyecto de innovación). Cada uno de estos lugares exigía poner en práctica distintas habilidades aprendidas durante los años de estudio y también desarrollar otras nuevas. Se destaca entonces que durante este periodo de prácticas se realizaron actividades tanto de campo, como de gabinete y de laboratorio. Todas ellas han sido explicadas detalladamente en todo el desarrollo del presente informe.

En el informe se encuentra, en primer lugar, la descripción del lugar de trabajo junto con su organigrama. Luego, en el capítulo posterior, se plantean los objetivos (uno general y dos particulares) a lograr en estas prácticas. Seguidamente, en el capítulo cuatro, se encuentra la descripción general de los dos trabajos realizados y de otras actividades llevadas a cabo en el lugar de trabajo, luego se detalla actividad por actividad realizada en cada uno de ellos. Allí se pueden encontrar los distintos cálculos realizados, tablas y gráficos necesarios para llevar a cabo las tareas que fueron encomendadas, cabe destacar que ciertos resultados de ensayos no se encuentran en el informe (cargas de rotura a flexión, porcentajes de absorción, etc.). Todas estas descripciones se complementan con fotografías de los lugares visitados y de notas y cálculos realizados a mano para ayudar a la comprensión de lo explicado en el informe.

Finalmente, en el último capítulo, se realizan conclusiones sobre cada uno de los proyectos realizados, también se expone la síntesis lograda sobre la gestión de residuos sólidos y sobre cada uno de los residuos observados en el periodo de prácticas. Además, se realizan comentarios y recomendaciones sobre la materia.

## 2. CENTRO DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE RESIDUOS SÓLIDOS

El CEIRS es una de las áreas del Instituto del Medio Ambiente (IMA), está ubicado en el DETI I de la Facultad de Ingeniería (FING) de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO). La jefa del área es la Ingeniera Irma Mercante.

El centro de estudios realiza actividades de investigación, extensión, transferencia, docencia y formación de recursos humanos en temáticas relacionadas con herramientas de gestión ambiental aplicadas a recursos, procesos y residuos.

También, realiza estudios complejos en áreas de la Ingeniería Ambiental. Cuenta con Certificado de Sistema de Gestión de Calidad bajo ISO 9001 desde el año 2008 para servicios de Transferencia e Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) en Herramientas para la Gestión Ambiental de Recursos, Procesos y Residuos: Auditorías, Estudios de Riesgos y Análisis de Ciclo de Vida. Dictámenes Técnicos e Informes Ambientales. Bajo Norma ISO 9001:2015.

El CEIRS cuenta con oficina técnica y laboratorio para llevar a cabo todas sus actividades.

A continuación, se muestra un organigrama del área en cuestión:

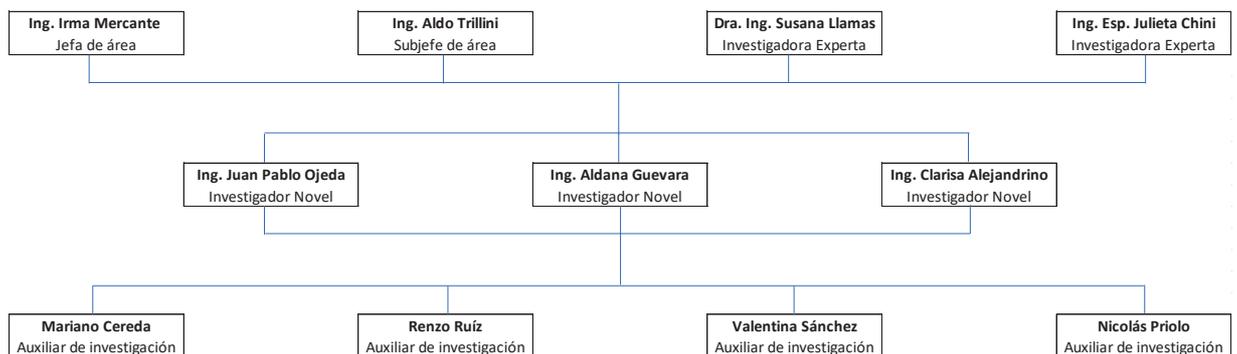


Figura 1. Organigrama del CEIRS.

## 3. OBJETIVOS DE LAS PRÁCTICAS

Los objetivos generales propuestos para estas prácticas profesionales son tres:

- Integrar las competencias profesionales de la ingeniería civil en un contexto laboral.
- Lograr una buena integración en un equipo de trabajo.
- Interactuar con instituciones públicas y privadas del medio socio productivo.

En particular, estas prácticas enfocadas se enfocan en el área de medio ambiente, por lo que se plantearon otros objetivos particulares:

- Objetivo particular 1: formar una visión global lo más completa posible acerca del problema de contaminación del medio ambiente debido a los residuos sólidos.
- Objetivo particular 2: aprender sobre proyectos de investigación e innovación y cómo llevarlos a cabo.
- Objetivo particular 3: aprender sobre las posibles soluciones al problema de contaminación del medio ambiente debido a los residuos sólidos de la construcción civil.

## 4. DESARROLLO

### 4.1. ACTIVIDAD DE TRANSFERENCIA: PROYECTO DE VERTEDERO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

#### 4.1.1 Descripción general del proyecto

Se participó en la realización del proyecto ejecutivo: *VERTEDERO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN*, para la Dirección de Ambiente y Energía de la Municipalidad de Guaymallén en el Distrito Puente de Hierro, Guaymallén, Mendoza, Argentina. Dicho proyecto se ha elaborado como parte del Acuerdo Específico de Transferencia Científica y Servicios Especiales entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, la Asociación Cooperadora de la Facultad de Ingeniería y la Municipalidad de Guaymallén (Res. N° 3712/2021 R-UNCUYO).

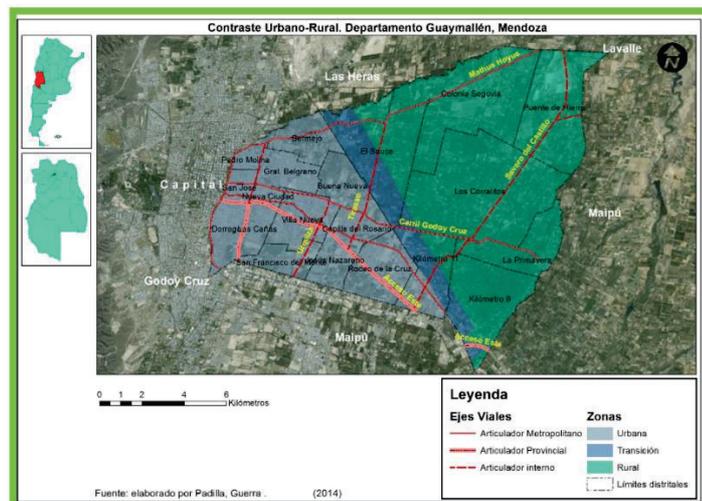


Figura 2. División política del Departamento de Guaymallén, Mendoza, Argentina. Fuente: elaborado por Padilla, Guerra (2014).

Siendo más precisos, el lugar está ubicado en la esquina de la calle Severo del Castillo y la calle Roque Sanz Peña. El sitio de emplazamiento del vertedero se muestra en la Figura 3.

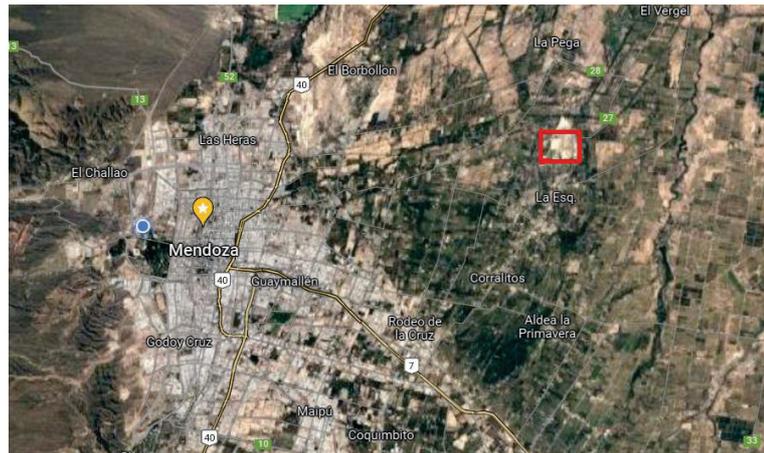


Figura 3. En recuadro rojo se muestra el sitio de emplazamiento del vertedero.

La Figura 4 es un acercamiento de la Figura 3.



Figura 4. Acercamiento del sitio de emplazamiento. El área destinada al vertedero está compuesta por las 3 parcelas casi rectangulares. Note las lagunas de estabilización en la esquina inferior izquierda.

De manera general, se puede decir que el proyecto tiene una complejidad importante debido a la cantidad de instalaciones que rodean el sitio tales como estaciones de bombeo, establecimiento depurador de líquidos cloacales, líneas eléctricas y báscula para camiones, y, además, por las actividades que se llevan en él y en sus alrededores (vertidos ilegales de residuos, quemas de materiales, etc.).

Por lo expuesto en el párrafo anterior, el diseño del vertedero de RCD debe ser compatible con las instalaciones ya existentes y, además, debe mitigar las actividades que pudieran acarrear consecuencias graves para la población del lugar. Para ello se decide realizar un cierre perimetral con un *terraplén de suelo* construido por etapas, más adelante en el desarrollo de este texto se explicará con mayor profundidad este punto. Está claro también de que el proyecto requiere obras complementarias tales como canales de desagüe, caminos de accesos, puentes para

acceso de camiones, área de maniobras, caminos internos para la operación del vertedero, caminos de servicio para la línea eléctrica, etc.

Además, el equipo conformado para realizar el proyecto se menciona a continuación junto con la actividad principal desarrollada por cada miembro del equipo:

1. Ingeniera Irma Mercante – directora del proyecto.
2. Ingeniero Juan Pablo Ibáñez – diseño geotécnico del vertedero.
3. Ingeniera Susana Llamas – aviso de proyecto.
4. Ingeniera Julieta Chini – aviso de proyecto.
5. Ingeniero Juan Pablo Ojeda – cálculo hidrológico y diseño de desagües pluviales.
6. Estudiante de Ingeniería Civil Nicolás Priolo – colaboración en relevamientos de datos de campo, elaboración de planos y tablas, colaboración en cálculo de estructuras de desagüe y puentes de ingreso vehicular.

Cabe destacar que cada miembro del equipo aportó ideas y conocimientos más allá de su actividad principal para el desarrollo y finalización del proyecto.

#### **4.1.2. Descripción del sitio de emplazamiento del vertedero**

Como descripción general del sitio, se puede mencionar que se trata de un lugar que funcionó como vertedero de residuos sólidos urbanos (RSU) entre los años 1980 y 2000 por lo que se trata de un sitio que tiene un pasivo ambiental (Ver Figura 6).

Una de las formas de conocer la antigüedad de un vertedero es inspeccionar el lugar e intentar encontrar algún residuo que aún conserve la marca y fecha, luego se puede realizar una búsqueda por internet de la marca en cuestión para así determinar entre qué años estuvo operativo el vertedero. La Figura 5 muestra uno de los residuos encontrados en el vertedero:



*Figura 5. Botella de vidrio de una gaseosa de la marca GINI que existió en Argentina entre los años 1980 y 1990.*



*Figura 6. Vista de una de las áreas del vertedero. Como consecuencia de lo comentado en el primer párrafo se concluye que cualquier movimiento de suelo en el terreno traerá a la superficie RSU.*

Además, en el mismo sitio se encuentra un establecimiento depurador de líquidos cloacales sin mantenimiento, por lo que es común que se desborde ante alguna precipitación importante (Figura 7).



*Figura 7. Lagunas de estabilización en el del predio.*

También se puede observar abundante vegetación en el predio (Figura 8), de esto se desprende la posibilidad de que los líquidos cloacales se infiltren en el terreno en cantidades importantes, lo que lleva a comprender la magnitud del impacto ambiental del sitio.



*Figura 8. Se observa la abundante vegetación del lugar*

Esto último mencionado es muy probable debido al nulo mantenimiento del establecimiento y al vandalismo que han sufrido las capas impermeables de las lagunas como se puede observar en la Figura 9.



*Figura 9. Laguna de estabilización. Observe la barrera impermeable de polipropileno vandalizada.*

Luego, otro aspecto importante por mencionar es que en el sitio en cuestión y en sus alrededores se producen vertidos ilegales de residuos de construcción y demolición (RCD) (Figura 10).



*Figura 10. Residuos de construcción y demolición vertidos de manera descontrolada en el predio.*

Es necesario indicar, además, este lugar y sus alrededores son elegidos para realizar quemas clandestinas de los residuos. Para las personas que habitan el lugar es un problema muy grave este tipo de actividades ya que pone en riesgo la integridad física de las mismas debido a los gases de combustión generados, la posibilidad de que la quema alcance algunas viviendas, etc. Durante una de las visitas al sitio se presencié una quema (Figuras 11 y 12).



*Figura 11. Al fondo se observa la quema, mientras que el encargado de obras del lugar, se dispone a comunicarse con la policía ambiental.*



Figura 12. Restos de residuos luego de una quema.

Otra de las actividades que se desarrollan en el lugar es la de recuperación de materiales a partir de residuos, para su posterior compra – venta, de materiales residuos valiosos tales como cobre, chatarra, plástico, papel y trapos. En la Figura 13 se observan los precios por kg de estos materiales:



Figura 13. Precios de materiales recuperados.

También es necesario mencionar que los alrededores del sitio se encuentran poblados, por lo que, debido a las actividades e instalaciones anteriormente mencionadas que se llevan a cabo y están en el sitio, existe una problemática social importante en temas sanitarios (desborde de líquidos cloacales, vertido ilegal de residuos (RSU y RCD), quemas clandestinas de diversos materiales, etc.) y de seguridad. Ver Figura 14.



*Figura 14. Vivienda de los alrededores del vertedero con problemas sanitario*

Se destaca que en el predio del futuro vertedero de RCD se encuentra instalada y en operación una báscula de pesaje (Figura 15) para camiones que, a la fecha de elaboración de este informe, transportan y depositan diversos residuos (RCD, RSU, Residuos Verdes, etc.) a otro vertedero poco controlado a pocos metros del predio que se ha descrito hasta aquí. La operación de esta báscula ha permitido medir las toneladas de residuos generados por mes (a partir del año 2019) y lo que hizo posible, como se verá más adelante, la estimación de la vida útil del vertedero.



*Figura 15. Báscula para camiones, instalada al lado de la casa de seguridad del predio.*

Finalmente, se destaca que el cierre de este predio mediante la construcción de un vertedero controlado de RCD mejorará, en cierta medida, las condiciones sanitarias de la población de alrededor del sitio ya que habrá más presencia del Estado en la zona (de ahora en más ya no será un sitio tan atractivo para realizar quemas, por ejemplo) y mayor control sobre el vertido de residuos.

### **4.1.3. Actividades realizadas en la elaboración del proyecto “Vertedero de RCD”**

Las actividades realizadas para elaborar el proyecto se nombran a continuación:

#### 1. Búsqueda y lectura de información sobre el sitio de emplazamiento

Para formar conocimiento sobre el lugar en el que va a realizar el proyecto se recurrió, principalmente, al trabajo del Ing. Rubén Vidal [1], realizado en el marco de la Especialización en Ingeniería Ambiental. A partir de la lectura y estudio de este trabajose obtuvieron muchas conclusiones. A continuación, se mencionan las de mayor relevancia y que hicieron al desarrollo del proyecto:

- a) El sitio elegido por el municipio para proyectar el Vertedero de RCD se trata de un terreno con un alto impacto ambiental debido a su funcionamiento durante una gran cantidad de años como vertedero sin poco control de RSU.
- b) Cualquier movimiento de suelo provoca el surgimiento de residuos a la superficie.
- c) Es probable que las napas freáticas estén contaminadas.
- d) Se debe proponer un cierre perimetral que cumpla múltiples condiciones, tales como: económicas, de seguridad ante intentos de traspasarlo y conformado por materiales que no tengan valor de reventa.
- e) Es importante mencionar que, por la cantidad de años transcurridos desde los últimos vertidos, no se detectan gases provenientes de la descomposición de la materia orgánica.

Las figuras 17 y 18 muestran algunos datos extraídos del trabajo mencionado.

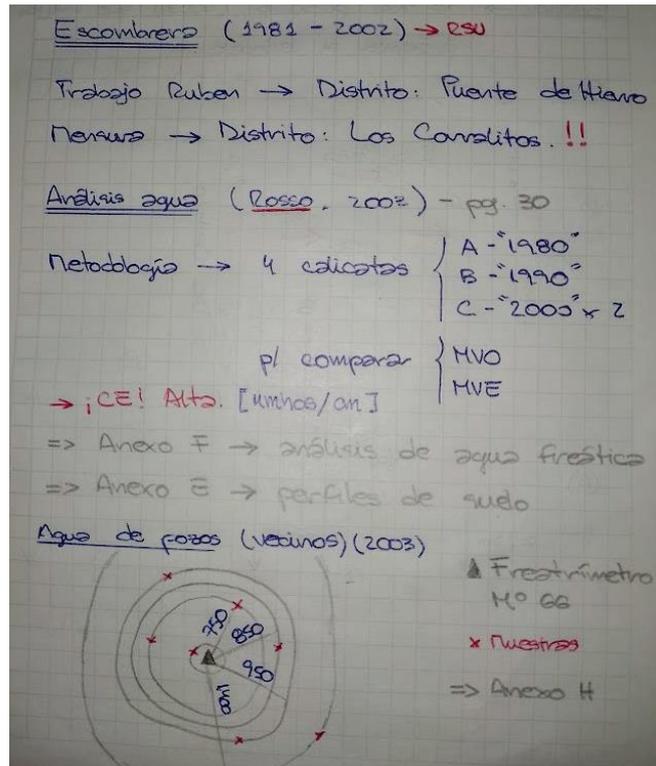


Figura 16. Datos obtenidos a partir de la lectura de Rubén Vidal. Se destaca el periodo de funcionamiento del lugar como vertedero de RSU entre los años 1981 y 2002.

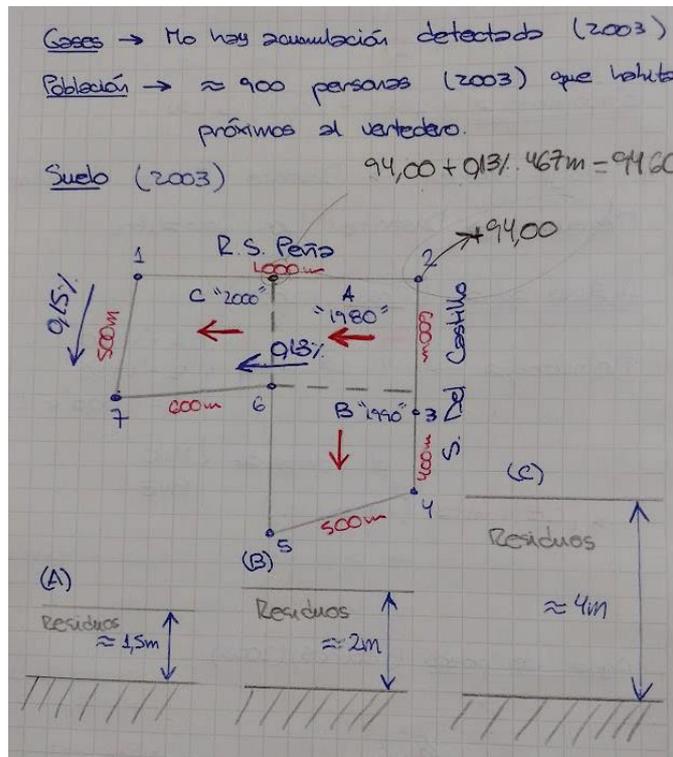


Figura 17. Esquema de las áreas del vertedero (A, B y C). Se destaca la profundidad de calicatas de vertido de RSU de cada área.

Además, a partir de la mensura del terreno se pueden obtener datos importantes del lugar que serán útiles para el desarrollo del proyecto. En la Figura 18 se encuentra la mensura.

También se disponía de un levantamiento topográfico del lugar en formato AutoCAD, todos los planos realizados se basaron a partir de este archivo. Es importante mencionar que se encontraron bastantes diferencias con los datos aportados por la mensura (ángulos con respecto al Norte y algunas distancias). En este punto se menciona a modo de conclusión, la importancia de comparar las distintas fuentes de información a la hora de comenzar a desarrollar un proyecto.



## 2. Reuniones operativas con encargados de la Dirección de Ambiente y Energía del municipio de Guaymallén.

A medida que se desarrollaba el proyecto se mantuvieron varias reuniones con los encargados de la Dirección de Ambiente y Energía del municipio en las que se exponían las posibles soluciones para la construcción y operación del vertedero, al mismo tiempo que se descartaban ciertas opciones que no eran convenientes.

En un principio, la idea de dichos encargados era construir una planta de reciclaje de RCD en el mismo lugar en donde se depositaban, es decir, en el predio del vertedero. Se les aclaró que era necesario analizar esta opción, debido a los problemas de logística y altos costos que traería el vertido, tratamiento, depósito y transporte del material.

## 3. Reconocimiento del sitio de emplazamiento del vertedero en el Distrito Puente de Hierro.

Para conocer el sitio se realizaron varias visitas en las cuales se recorrió una gran parte del sitio y se mantuvieron conversaciones con los encargados del lugar para obtener información. Todo lo relativo a este punto se puede encontrar en la descripción del lugar de emplazamiento del vertedero que se realizó en la sección anterior.

Como se explicó anteriormente se trata de un sitio en el que confluyen diversas actividades tales como:

- a) Vertidos clandestinos de RSU y RCD.
- b) Recuperación de materiales para su posterior venta.
- c) Quemadas clandestinas de materiales.
- d) Báscula para camiones recolectores.
- e) Estaciones de bombeo de líquidos cloacales.
- f) Establecimiento depurador de líquidos cloacales (sin mantenimiento).

Estas actividades generan un importante impacto ambiental y además generan una gran cantidad de problemas para las personas que habitan la zona.

## 4. Colaboración en mediciones de ruido y calidad del aire con el grupo Instrumental del IMA de la FING.

A cargo del Sr. Gerardo Dragón, del grupo Instrumental del IMA de la FING, se realizó la medición de ruido y calidad del aire. Se midió la calidad del aire dentro del sitio con un equipo que mide el particulado del aire, más específicamente dentro de la casa de seguridad del lugar ya que este equipo costoso debe permanecer un día entero midiendo.



*Figura 19. Instalación del equipo de medición de calidad del aire.*

Se realizaron mediciones de ruido en varios puntos alrededor del sitio.



*Figura 20. Instalación del equipo de medición de ruido.*

Estas mediciones se realizaron para establecer la línea base del lugar, en términos de calidad del aire y contaminación sonora. Cabe destacar que al construir un vertedero de RCD el particulado en el aire aumentará y el ruido también debido al mayor tránsito de camiones, sin embargo, se debe mencionar que en los alrededores ya se encuentra en operación un vertedero de RSU por lo que se puede decir que el sitio en general ya se encuentra impactado ambientalmente.

### 5. Elaboración de planos.

Para la elaboración de planos se utilizó el programa AutoCAD y se trabajó a partir de un archivo que contenía información sobre un levantamiento de puntos dentro del predio realizado por el agrimensor de la municipalidad. Además, se disponían de otros planos conformados con anterioridad. Es importante mencionar que la mensura también sirvió para contrastar información de los otros archivos. En total se realizaron 10 planos (se pueden ver en el anexo) durante la PPS que se mencionan a continuación:

1. Planialtimetría
2. Planta general
3. Detalle zona de báscula
4. Perfiles sobre Calle Severo del Castillo
5. Perfil sobre Calle Saenz Peña
6. Esquema de áreas de relleno
7. Esquema de terraplenes
8. Esquema de canales y secciones transversales
9. Sección de puente y alcantarilla tipo
10. Sección de Canal C1

Con respecto a las dificultades que se tuvieron en la conformación de estos planos se puede mencionar, en primer lugar, lograr un ordenamiento adecuado y prolijo de la información recibida, utilizando los archivos útiles y descartando los demás. Para ello se deben contrastar distancias, ángulos, construcciones que se hayan plasmado en los planos tanto existentes como a construir (caminos, líneas eléctricas, etc.); también se deben identificar de manera precisa los límites municipales y límites del terreno. Cualquiera de estos puntos mencionados que no se haya resuelto o fijado será un gran problema más adelante en el desarrollo del proyecto.

En segundo lugar, por tratarse de un lugar de constante actividad debido a la existencia de otras instalaciones como ya se mencionó anteriormente, era común encontrarse con nuevas obras realizadas en el predio cada cierto tiempo que se visitaba el lugar, por ejemplo: la construcción de bordos de contención para líquidos cloacales desbordados debido a una precipitación importante de las lagunas de estabilización o la construcción del área de maniobras para camiones. Todos estos cambios debían ser plasmados en los planos con el fin de que los mismos representaran de mejor manera la situación real del lugar.

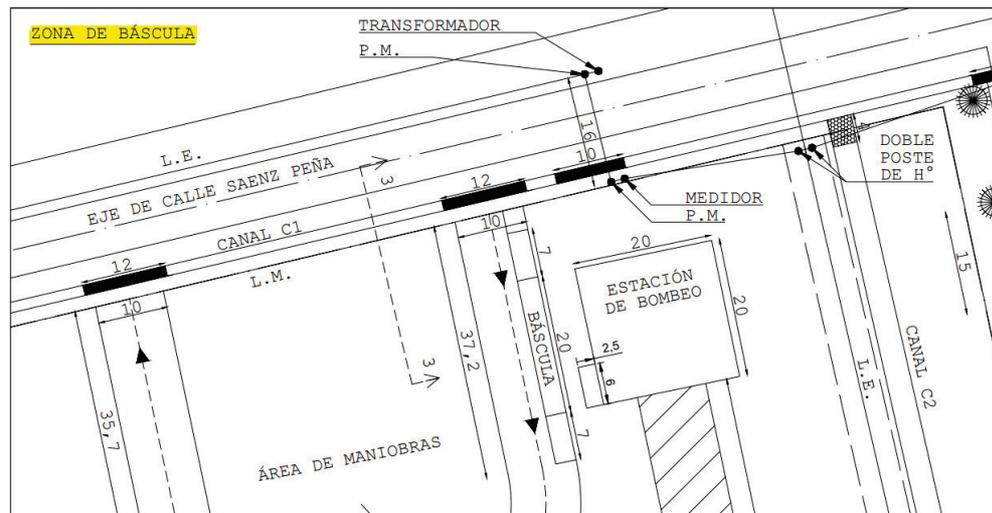


Figura 21. Recorte del plano N° 3 Detalle de zona de báscula. Se trata de un punto crítico del vertedero debido a la confluencia de varias obras, tanto existentes como a construir.



Figura 22. Área de maniobras en la zona de báscula. Esta obra se realizó antes del proyecto debido a la necesidad de utilizar la báscula por parte de los camiones recolectores de RSU.

Finalmente, también se tomaron algunas distancias y niveles importantes para la realización de los planos tales como distancias entre postes eléctricos y ancho de calzadas.

### 6. Participación en el diseño y cálculo de obras complementarias.

Un vertedero es una obra compleja en la que intervienen múltiples áreas de la ingeniería tales como la mecánica de suelos (estabilidad de taludes de cierre e impermeabilización del vaso del vertedero), la hidráulica e hidrología en lo que respecta a protección aluvional y desagüe de aguas superficiales, el cálculo de estructuras de hormigón armado en el caso de que se utilicen canales de hormigón armado o se requieran construir otras estructuras, la ingeniería sanitaria, y por supuesto, la ingeniería ambiental. Por tratarse de un vertedero de RCD se considera que no es necesario impermeabilizar el vaso del vertedero ya que no se generarán lixiviados, sin embargo, si se propone un sistema de desagüe frente a las precipitaciones que podrían acontecer en el predio. Las obras complementarias del vertedero se nombran a continuación:

- Canales excavados en tierra.
- Canales de hormigón armado.
- Puentes y alcantarillas de hormigón armado.
- Área de maniobras para camiones.
- Caminos internos.
- Caminos de servicio para líneas eléctricas.
- Barrera forestal.

El diseño de la armadura de los canales, puentes y alcantarillas de hormigón armado se obtuvieron a partir de planos y recomendaciones de Dirección Provincial de Vialidad (DPV) (Figura 23 y 24)

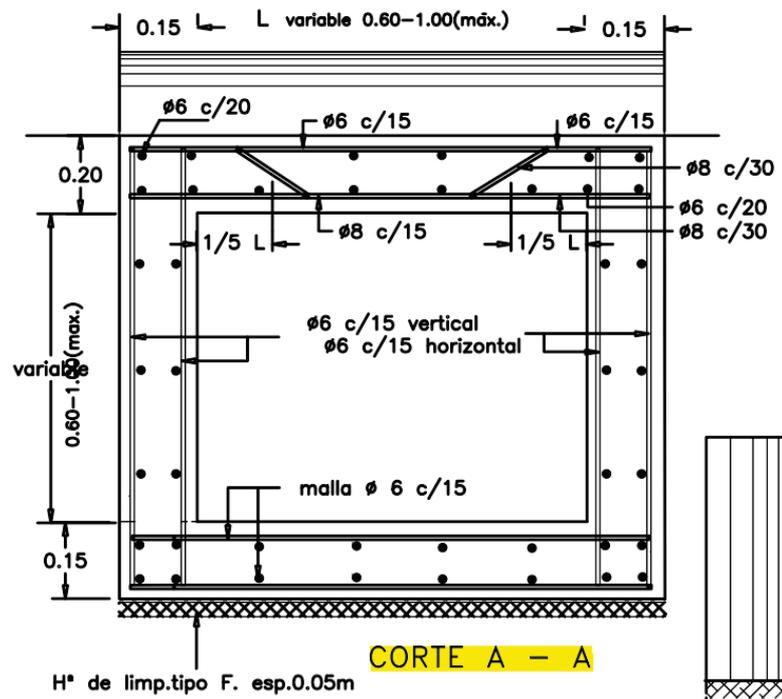


Figura 23. Plano Tipo. Alcantarilla A - 42 de DPV.

a	b	c	d	e	ESPAZOR TOTAL	HIERROS						VOLUMENES		HIERROS		DOBLADOS DE HIERROS		
						N°1-2		N°3		REPARTICION		2 CORD	LOSAS/m	Ø	Kg			
						SEP. 1-2	SEP. 2-2	SEP. cm	SEP. cm	SEP. cm	SEP. cm							
0.60	0.20	0.25	0.50	0.25	20	10	13.0	6	26	6	20	0.110	0.220	6	3.18	10	8.15	
0.80	0.22	0.25	0.55	0.25	22	10	11.5	6	23	6	20	0.130	0.266	6	3.82	10	9.45	
1.00	0.23	0.30	0.60	0.30	23	10	10.5	6	21	6	19	0.160	0.368	6	5.00	10	11.35	
1.20	0.24	0.30	0.60	0.30	24	12	14.0	6	28	6	17.5	0.180	0.482	6	5.31	10	12.60	
1.50	0.26	0.30	0.70	0.30	26	12	12.5	6	25	6	15.5	0.210	0.546	6	7.00	10	17.40	
2.00	0.29	0.30	0.90	0.30	29	12	10.5	6	21	6	13.5	0.260	0.754	6	8.26	12	25.75	
2.50	0.33	0.30	0.90	0.30	33	14	13.0	6	26	6	12	0.310	1.023	6	8.61	12	29.40	
3.00	0.36	0.33	1.00	0.30	36	14	12.0	6	24	6	11	0.366	1.317	6	10.37	12	34.20	
4.00	0.41	0.40	1.20	0.35	41	14	9.0	6	18	8	14	0.480	1.968	6	14.47	12	52.98	
5.00	0.46	0.40	1.50	0.40	46	16	11.0	6	22	8	14	0.580	2.668	6	19.65	14	73.20	

Figura 24. Tabla Alcantarilla tipo normal de DPV. Para luces de 0.60 m a 5.00 m con aplanadora de 30 toneladas.

En particular, se verificó la armadura adoptada de los canales de hormigón armado y de la alcantarilla (Figura 25)

Análisis de barras

$$l_{dh} = 0,24 \cdot \frac{420}{\sqrt{25}} \times db \approx 20 \times db$$

→ con gancho = 90°

$l_{d,c} \approx 20 \times db$  (compresión)

$l_{d,t} \approx 40 \times db$  (tracción) } sin gancho

16mm →  $l_{dh} = 20 \times 0,6 \text{ cm} = 12 \text{ cm}$

penetración de fluencia, → sólo aplica p/ sismo, no p/ canales.

12d + d?

16mm →  $l_{dh} = 20 \times 0,8 \text{ cm} = 16 \text{ cm}$

rigididades de empalme.

1). Canal vacío

Suelo

Eje de simetría

Suelo

$\gamma = 4,8 \text{ t/m}^3$

Sección crítica

— Barras a tracción (A<sub>p</sub> p<sub>pl.</sub>) → p/ caso ①.

— Barras a tracción → p/ el caso ②.

2). Canal lleno, sin tierra a los costados.

Equilibrio de nudo

Figura 25. Imagen de las notas y cálculos realizados en la verificación de la armadura de canales.

Como en toda estructura de hormigón armado, lo primero que se debe identificar son los posibles estados de carga y la configuración deformada de la estructura, de esta forma se puede visualizar conceptualmente en dónde colocar la armadura. Es recomendable utilizar artilugios que nos ayudan a comprender los esfuerzos a los que estará sometida la estructura; tales como un diagrama de equilibrio de nudo o verificar la existencia o no de simetría en el problema.

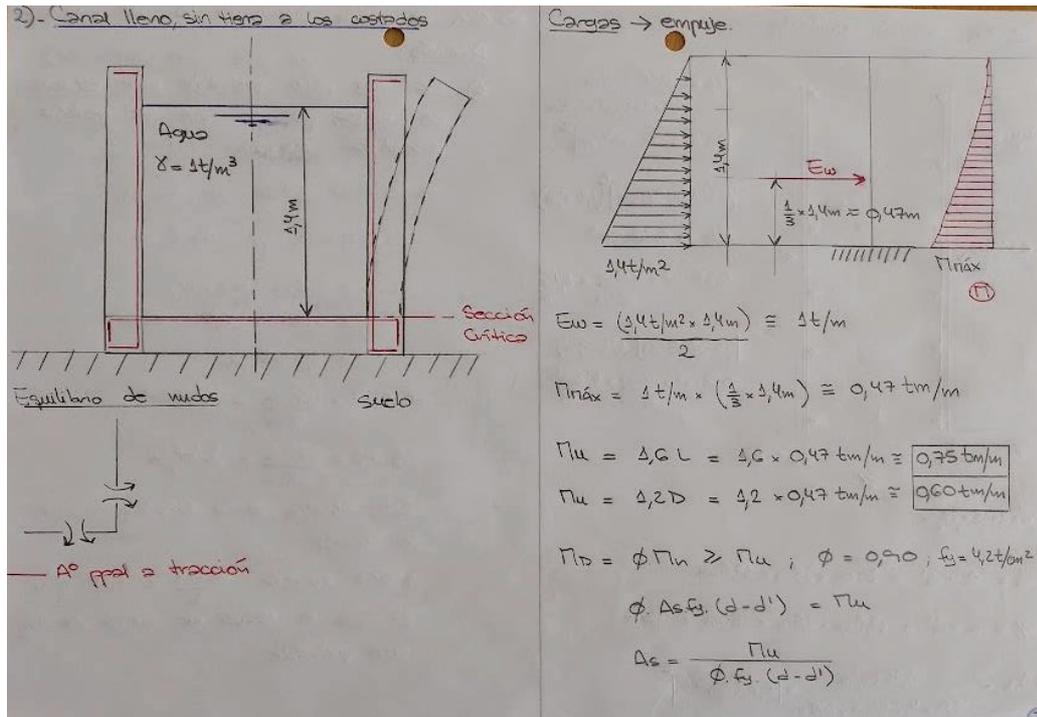


Figura 26. Cargas sobre la estructura

Una vez comprendido el mecanismo de funcionamiento de la estructura, es posible calcular las cargas que obran sobre la estructura, las sollicitaciones y la armadura necesaria mediante las ecuaciones de diseño (Figura 26).

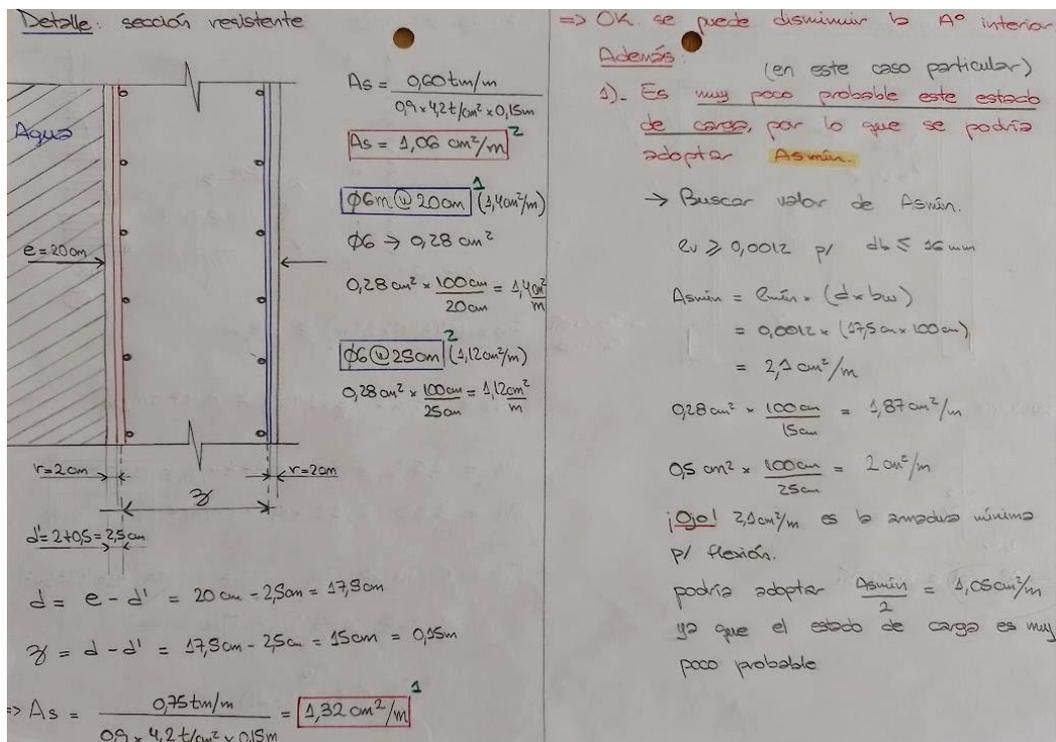


Figura 27. Detalle de disposición de armaduras

Es conveniente realizar diagramas en detalle de la disposición de las armaduras para verificar distancias de separaciones, recubrimientos, brazos, etc. Luego, se compara el valor

obtenido con los requerimientos mínimos y máximos de algún reglamento, en este caso se utilizó el Reglamento CIRSOC 201 – 2005 (Figura 27)

Finalmente, una vez colocadas las armaduras se debe realizar planos de detalles de armadura y despieces, de tal forma de optimizar el armado y colocación de estas, es decir, un plano que permita una fácil construcción de la obra. Dichos planos pueden encontrarse en el anexo.

#### 7. Estimación de la cantidad de RCD producidos.

En este punto se aclara de que el vertedero se diseña para recibir únicamente RCD generados en obras municipales. En la Tabla 1 se muestran los datos disponibles para realizar esta estimación.

Tabla 1. Datos de generación provistos por el municipio

RESIDUOS VERTEDERO							
Año	Mes	Escombros / Embanque [tn]	Residuos Verdes [tn]	Escombros [%]	Residuos Verdes [%]	Total mensual [tn]	Promedio mensual [tn]
2019	Enero	12138	633	95	5	12771	11623
	Febrero	9995	932	91	9	10927	
	Marzo	8407	1000	89	11	9407	
	Abril	7852	636	93	7	8488	
	Mayo	9191	1337	87	13	10528	
	Junio	7636	3550	68	32	11185	
	Julio	7841	4567	63	37	12408	
	Agosto	8612	3765	70	30	12377	
	Septiembre	9226	2821	77	23	12047	
	Octubre	10578	2547	81	19	13125	
	Noviembre	11540	2602	82	18	14142	
	Diciembre	9451	2619	78	22	12070	
<b>TOTAL</b>		<b>112466</b>	<b>27009</b>	<b>81</b>	<b>19</b>	<b>139475</b>	
2020	Enero	-	-	-	-	0	-
	Febrero	-	-	-	-	0	
	Marzo	-	-	-	-	0	
	Abril	-	-	-	-	0	
	Mayo	-	-	-	-	0	
	Junio	-	-	-	-	0	
	Julio	-	-	-	-	0	
	Agosto	-	-	-	-	0	
	Septiembre	-	-	-	-	0	
	Octubre	-	-	-	-	0	
	Noviembre	-	-	-	-	0	
	Diciembre	8015	559	93	7	8573	
<b>TOTAL</b>							
2021	Enero	7386	851	90	10	8237	8006
	Febrero	6018	590	91	9	6608	
	Marzo	-	-	-	-	-	
	Abril	9330	974	91	9	10304	
	Mayo	6258	896	87	13	7154	
	Junio	7973	1891	81	19	9864	
	Julio	-	-	-	-	-	
	Agosto	5609	1571	78	22	7180	
	Septiembre	8963	1298	87	13	10261	
	Octubre	5965	939	86	14	6904	
	Noviembre	5678	929	86	14	6607	
	Diciembre	5766	1172	83	17	6938	
<b>TOTAL</b>		<b>68945</b>	<b>11111</b>	<b>86</b>	<b>14</b>	<b>80057</b>	

Se estimó la cantidad de RCD producidos a partir de la cantidad total de residuos de escombros / embanque generados en el año 2019 ya que en el año 2020 no se hicieron mediciones, los datos del año 2021 están incompletos e indican una situación favorable (68.945 t/año frente a

las 112466 t/año del año 2019) y, los datos del año 2022 no están disponibles a la fecha de elaboración del proyecto.

En síntesis, se estima que se generaran 112.466 toneladas de RCD de origen de obras municipales por año. Como comentario adicional, se menciona el hecho de que en las tablas de datos se observa que también se genera una cantidad importante de residuos verdes (RV), en este punto se decide que el vertedero no estará destinado a recibir este tipo de residuos debido a los problemas de combustión que podrían causar; sin embargo, también se tiene en cuenta la posibilidad de que llegue un camión cargado de estos residuos por lo que se deja un área de tránsito exclusiva para residuos verdes, es decir, luego deben ser evacuados rápidamente del sitio.

La Figura 28 muestra cómo varía la composición de los residuos totales (RCD + RV) a lo largo del año:

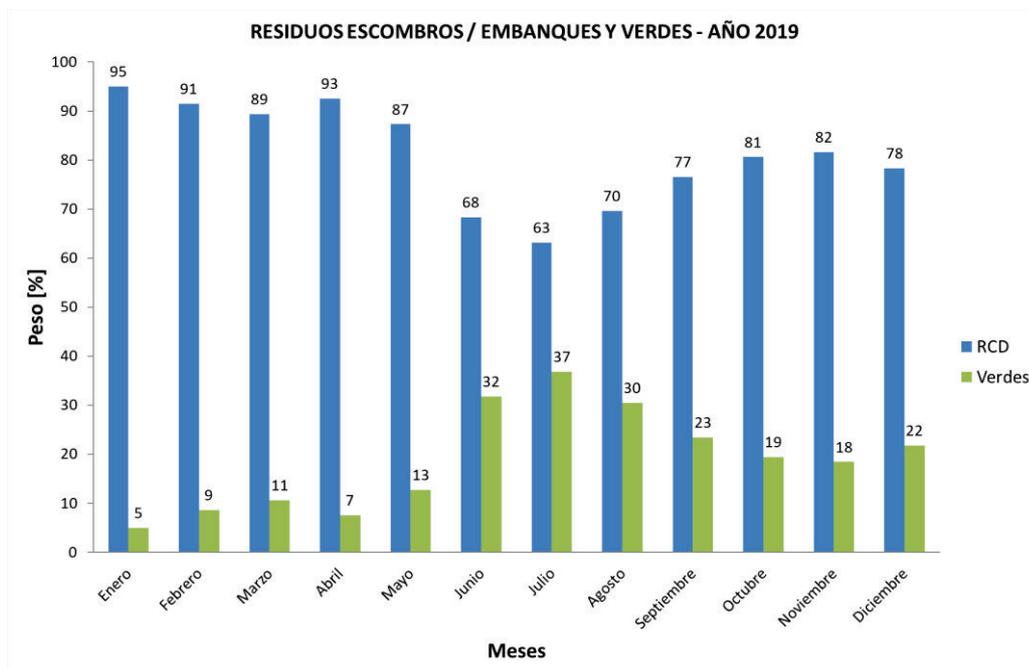


Figura 28. Variación a lo largo del año 2019 de la composición de los residuos totales (RCD + RV).



*Figura 29. Residuos verdes en el predio.*

#### 8. Posibilidad de introducir RCD de obras privadas

Se estudió la posibilidad de que el vertedero en un futuro reciba los RCD generados en obras privadas, para ello, en primer lugar, se realizó un estudio sobre las superficies autorizadas a construir y sobre las superficies relevadas (se trata de superficies construidas pero que nunca fueron autorizadas) por mes en cada año en el Departamento de Guaymallén.

Una vez analizados estos datos se puede adoptar un valor medio de superficie construida por año, para luego estimar la cantidad de RCD a partir de índices de generación en toneladas por m<sup>2</sup> de superficie construida.

A partir de los datos recibidos del director de Obras Privadas de la Municipalidad de Guaymallén se elaboró la Tabla 2.

Tabla 2. Datos de superficies autorizadas y relevadas de obras privadas entre los años 2016 - 2022

**CONSTRUCCIÓN DE OBRA PRIVADA NUEVA AÑO 2016-2022**



**SUPERFICIE CUBIERTA (M2) AÑO 2016-2022**

MES	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL M2
SUP O. NUEVA 2016 M2	7.721	2.795	7.263	11.222	12.481	7.648	4.635	17.708	13.048	5.801	11.454	17.906	119.682
SUP O. NUEVA 2017 M2	17.471	6.802	10.506	13.553	15.405	11.644	7.468	21.052	13.099	13.150	19.101	13.124	162.375
SUP O. NUEVA 2018 M2	10.880	4.523	12.762	8.111	6.974	10.754	12.981	16.252	14.209	7.328	10.969	6.822	122.565
SUP O. NUEVA 2019 M2	5.339	9.117	16.344	12.685	14.640	10.336	11.297	7.154	8.313	5.183	6.704	6.545	113.656
SUP O. NUEVA 2020 M2	5.798	4.806	4.006	4.734	9.637	7.374	11.260	10.328	9.976	12.348	21.095	11.235	112.596
SUP O. NUEVA 2021 M2	9.830	12.081	13.031	9.542	10.389	13.780	16.717	6.911	15.404	15.943	14.814	6.685	145.127
SUP O. NUEVA 2022 M2	9.954	8.928	6.177										25.059

Nota: Corresponde a m2 de obra privada nueva que cada mes se autorizan a iniciar obra.

**RELEVAMIENTO DE OBRA PRIVADA AÑO 2016- 2022**

**SUPERFICIE CUBIERTA (M2) AÑO 2016-2022**

MES	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL M2
SUP RELEV 2016 (M2)	16.418	5.749	51.832	699	12.545	4.685	2.449	1.258	1.729	902	1.619	2.391	102.277
SUP RELEV 2017 (M2)	2.587	530	1.896	2.481	3.885	1.307	2.026	3.610	1.400	2.654	5.422	1.906	29.705
SUP RELEV 2018 (M2)	3.636	5.819	4.355	4.821	4.256	5.836	8.540	9.428	11.711	6.252	4.816	5.869	75.339
SUP RELEV 2019 (M2)	3.237	3.885	6.293	9.092	9.715	5.041	5.014	5.125	6.906	7.374	5.561	2.547	69.789
SUP RELEV 2020 (M2)	2.879	1.127	1.552	195	1.772	2.807	882	1.187	2.711	2.978	4.103	2.694	24.887
SUP RELEV 2021 (M2)	734	2.928	2.966	2.802	1.557	3.801	2.749	1.024	2.669	2.519	6.053	1.857	31.659
SUP RELEV 2022 (M2)	1.583	2.534	5.242										9.360

Nota: corresponde a m2 de construcciones existentes ya ejecutadas hechas sin permiso municipal que cada mes han obtenido el Visado del Relev.

En primer lugar, se traspasaron los datos a una planilla Excel® que se muestra en la Tabla 3 para poder trabajar sobre los datos. En rojo se indican los meses en lo que más se superficie se autorizó entre los años 2016 y 2022. En la columna de la derecha se encuentra el total autorizado por año y en la fila inferior se indica el promedio autorizado por mes.

Tabla 3. Datos de superficies autorizadas

AÑO	SUPERFICIE CUBIERTA AUTORIZADA [m2]												TOTAL
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
2016	7,721	2,795	7,263	11,222	12,481	7,648	4,635	17,708	13,048	5,801	11,454	17,906	119,682
2017	17,471	6,802	10,506	13,553	15,405	11,644	7,468	21,052	13,099	13,150	19,101	13,124	162,375
2018	10,880	4,523	12,762	8,111	6,974	10,754	12,981	16,252	14,209	7,328	10,969	6,822	122,565
2019	5,339	9,117	16,344	12,685	14,640	10,336	11,297	7,154	8,313	5,183	6,704	6,545	113,656
2020	5,798	4,806	4,006	4,734	9,637	7,374	11,260	10,328	9,976	12,348	21,095	11,235	112,596
2021	9,830	12,081	13,031	9,542	10,389	13,780	16,717	6,911	15,404	15,943	14,814	6,685	145,127
2022	9,954	8,928	6,177										25,059

Nota: Corresponde a m2 de obra privada nueva que cada mes se autorizan a iniciar obra

En rojo el mes en el que más m2 se autorizó.

<b>MEDIA MENSUAL</b>	9,507	6,687	10,652	9,975	11,588	10,256	10,726	13,234	12,342	9,959	14,023	10,386
----------------------	-------	-------	--------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	-------	--------	--------

Luego, se calcula la media mensual, es decir el promedio de m<sup>2</sup> autorizados por año y también se indica el valor máximo y mínimo anual en m2 por año:

<b>MEDIA ANUAL</b>	129,334
<b>MAX ANUAL</b>	162,375
<b>MIN ANUAL</b>	112,596

Finalmente se grafican los datos para cada mes y para cada año, obteniendo así la gráfica que se muestra en la Figura 30.

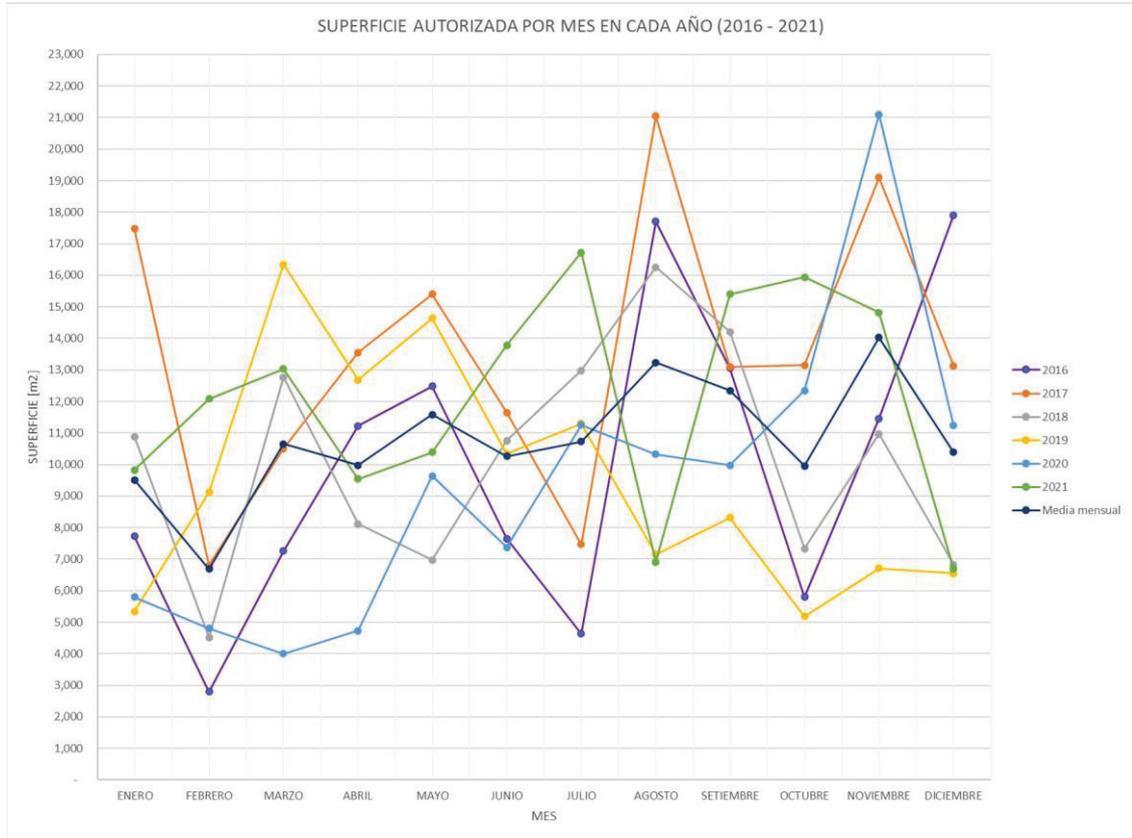


Figura 30. Superficie autorizada por mes y año

El procedimiento anteriormente descrito se realiza también para los datos de superficie cubierta relevada (Tabla 4).

Tabla 4. Datos de superficies relevadas de obras privadas entre los años 2016 - 2022

SUPERFICIE CUBIERTA RELEVADA [m2]													TOTAL
MES													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
2016	16,418	5,749	51,832	699	12,545	4,685	2,449	1,258	1,729	902	1,619	2,391	102,277
2017	2,587	530	1,896	2,481	3,885	1,307	2,026	3,610	1,400	2,654	5,422	1,906	29,705
2018	3,636	5,819	4,355	4,821	4,256	5,836	8,540	9,428	11,711	6,252	4,816	5,869	75,339
2019	3,237	3,885	6,293	9,092	9,715	5,041	5,014	5,125	6,906	7,374	5,561	2,547	69,789
2020	2,879	1,127	1,552	195	1,772	2,807	882	1,187	2,711	2,978	4,103	2,694	24,887
2021	734	2,928	2,966	2,802	1,557	3,801	2,749	1,024	2,669	2,519	6,053	1,857	31,659
2022	1,583	2,534	5,242										9,360
<i>Nota: corresponde a m2 de construcciones existentes ya ejecutadas hechas sin permiso municipal que cada mes han obtenido el Visado del Relevó</i>										<b>En rojo el mes en el que mas m2 se relevó</b>			
<b>MEDIA MENSUAL</b>	2,615	2,858	3,412	3,878	4,237	3,758	3,842	4,075	5,079	4,355	5,191	2,975	

<b>MEDIA ANUAL</b>	55,609
<b>MAX ANUAL</b>	102,277
<b>MIN ANUAL</b>	24,887

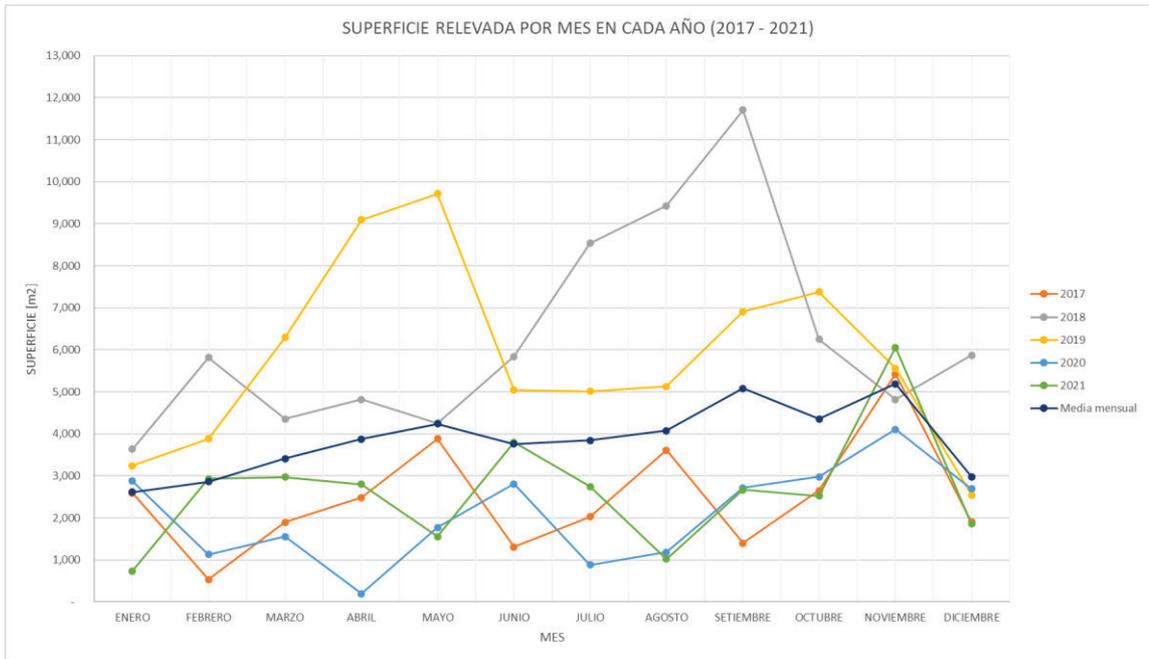


Figura 31. Superficie autorizada por mes y año

Finalmente se vuelcan en una misma gráfica los m<sup>2</sup> autorizados y los m<sup>2</sup> relevados por año para obtener el total que luego servirá para estimar una producción de RCD en t/año que serán evacuados al vertedero:

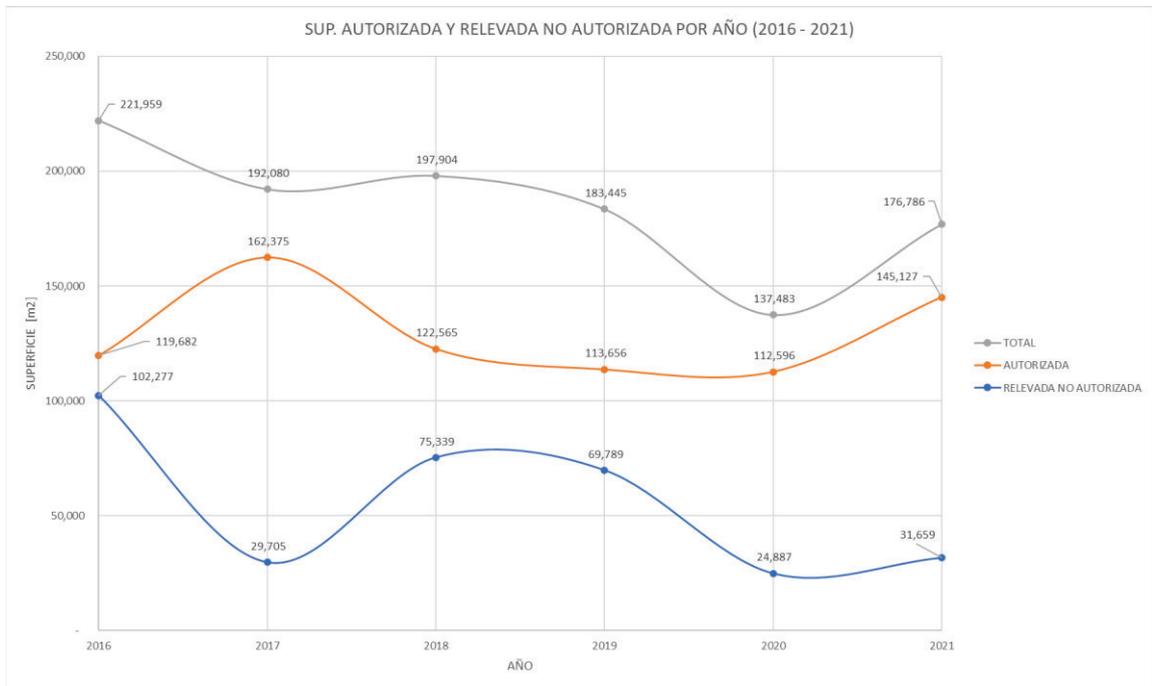


Figura 32. Superficies autorizadas y relevadas por año

9. Estimación de la vida útil del vertedero.

La vida útil del vertedero es uno de los parámetros más importante y difícil de estimar con precisión, ya que depende en gran medida de qué tan buena sea la estimación de la generación de residuos anual (t/año) y, como se observó en el punto número 7, dicha estimación se realizó con los datos de un solo año (el más desfavorable). Además, está sujeta a qué tan bien se controle la operación del vertedero (admisión o no de otros residuos, compactación o acomodamiento de los RCD, etc.).

En la figura 33 se muestran los cálculos realizados para estimar la cantidad de años en las que el vertedero estará operativo hasta su cierre. La densidad de los RCD se consideró como:

$$\delta_{RCD} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Los cálculos realizados para obtener la vida útil del vertedero se pueden observar en la Figura 33. Los valores de cada una de las áreas en las que se dividió el vertedero fueron obtenidos a partir del programa AutoCAD, luego, se adoptó una altura de relleno basadas en ciertas hipótesis realizadas en cada área. En una primera instancia se realiza el cálculo del volumen grueso y luego se va afinando el cálculo.

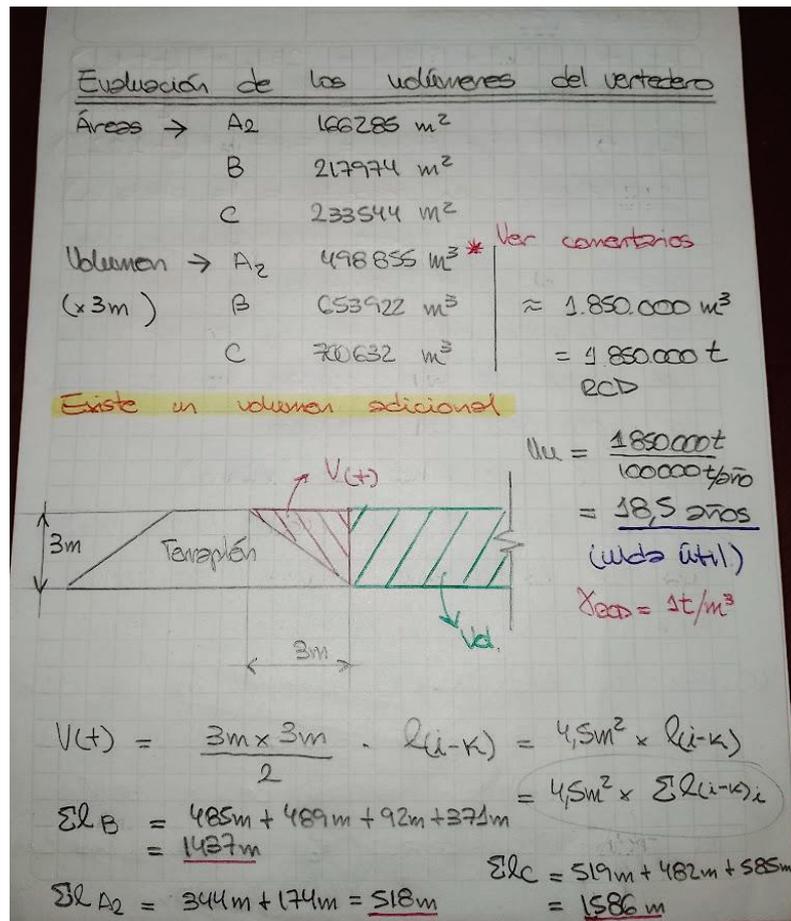


Figura 28. Evaluación de los volúmenes del vertedero y estimación de vida útil.

A modo de conclusión, se destaca la importancia de realizar comentarios sobre cualquier cálculo que se haya elaborado con el fin de que otra persona del equipo de trabajo pueda

entender rápidamente ciertos aspectos de las cuentas realizadas, de esta forma se ahorra tiempo de trabajo y se avanza más rápidamente en el desarrollo del proyecto.

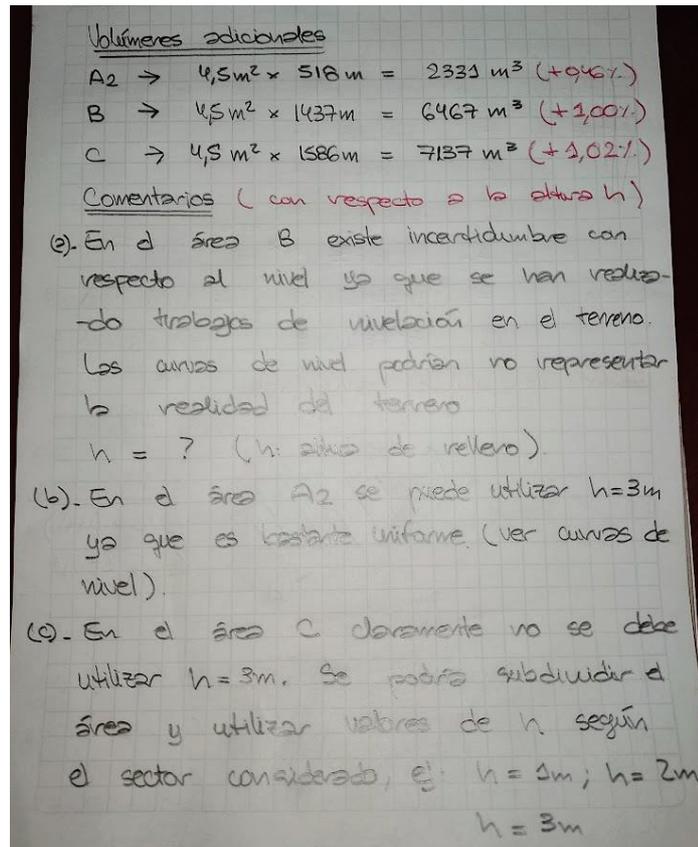


Figura 34. Justificación de las alturas de relleno utilizadas.

#### 10. Operación del vertedero: estimación de rendimiento y consumo de combustible.

A partir del Manual de Rendimiento Caterpillar se estimó el rendimiento de las máquinas y el consumo de combustible de estas en la operación del vertedero. Para ello, en primer lugar, se supuso un vehículo cargador que podría ser utilizado en la operación del vertedero, por ejemplo, un minicargador.

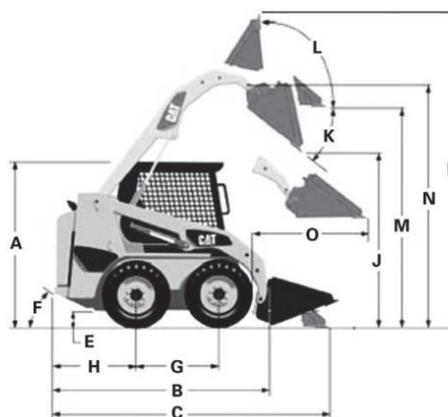


Figura 29. Minicargador Caterpillar. Fuente: Manual de Rendimiento CATERPILLAR.

**MINICARGADORES**

Peso en orden de trabajo de 2600 a 4350 kg (5710 a 9570 lb)



216B/226B  
232B



236B/242B  
246B/248B  
252B/262B  
268B



Todoterreno  
247B/257B  
267B/277B  
287B



Cargadores de Cadenas Compactos  
279C/289C  
299C

Figura 30. Otros tipos de minicargadores. Fuente: Manual de Rendimiento CATERPILLAR.

Para estimar el rendimiento de una máquina de carga es necesario conocer la carga útil del cucharón y el tiempo de ciclo. En la Tabla 5 se explican cada una de estas variables y se obtienen sus valores.

Tabla5. Capacidades de cucharón. Fuente: Manual de Rendimiento CATERPILLAR

Tipo de cucharón	Uso general								
	1680 mm (66") 12 x 16.5			1830 mm (72") 12 x 16.5			1981 mm (78") 12 x 16.5		
Ancho del cucharón Tamaño de neumáticos									
Tipo de herramienta de corte	Agu- jeros	Cuchilla emper- nable	Dientes emper- nables	Agu- jeros	Cuchilla emper- nable	Dientes emper- nables	Agu- jeros	Cuchilla emper- nable	Dientes emper- nables
No. de conjunto de cucharón	279-5368	279-5369	279-5370	279-5372	279-5373	279-5374	279-5376	279-5377	279-5378
Capacidad nominal del cucharón	m <sup>3</sup> 0,48	0,38 0,50	0,39 0,51	0,40 0,52	0,42 0,55	0,44 0,58	0,44 0,58	0,45 0,59	0,46 0,60
Capacidad a ras	m <sup>3</sup> 0,35	0,27 0,35	0,27 0,35	0,29 0,38	0,30 0,39	0,31 0,41	0,32 0,42	0,32 0,42	0,32 0,42

Las **capacidades nominales** del cucharón van desde  $0.35 m^3$  a  $0.50 m^3$ , estos valores están en función de:

1. Tipo de cucharón.
2. Ancho de cucharón.
3. Tamaño de neumáticos.
4. Tipo de herramienta de corte.

En cambio, la **capacidad al ras** toma valores desde  $0.24 m^3$  a  $0.35 m^3$ .

Se proponen los siguientes valores de volumen:

1.  $0.2 m^3$
2.  $0.3 m^3$

La otra variable necesaria para calcular el rendimiento de la máquina es el tiempo en el que tarda en hacer un **ciclo hidráulico** (cucharón vacío) que depende de cada modelo.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de cada modelo de minicargador. Fuente: Manual de Rendimiento CATERPILLAR.

			
MODELO	216B2	226B2	232B2
Potencia al volante: Neta	37 kW	42 kW	42 kW
Bruta	39 kW	46 kW	46 kW
Modelo de motor	C2.2	C2.2T	C2.2T
Velocidad (rpm) nominal del motor	3000	3000	3000
Calibre	84 mm	84 mm	84 mm
Carrera	100 mm	100 mm	100 mm
Cilindrada	2,2 L	2,2 L	2,2 L
No. de cilindros	4	4	4
Primera velocidad de avance	0-12,7 km/h	0-12,7 km/h	0-11,1 km/h
Primera velocidad de retroceso	0-12,7 km/h	0-12,7 km/h	0-11,1 km/h
Ciclo hidráulico, cucharón vacío:	Segundos	Segundos	Segundos
Subida	2,7	2,7	3,0
Descarga	2,2	2,2	2,2
Bajada (Vacío, bajada libre)	2,8	2,8	3,0
Total	7,7	7,7	8,2
Ancho de banda de rodadura	1244 mm	1244 mm	1244 mm
Ancho con neumáticos	1525 mm	1525 mm	1525 mm
Espacio libre sobre el suelo	195 mm	195 mm	145 mm
Capacidad del tanque de combustible	65 L	65 L	65 L
Capacidad del tanque de hidráulico	35 L	35 L	35 L
Capacidad del sistema hidráulico (incluyendo el tanque)	55 L	55 L	55 L
Capacidad de la bomba hidráulica	60 L/min	60 L/min	60 L/min

A partir de la tabla anterior se observa que estos tiempos toman valores desde 7.7 segundos a 11.7 segundos.

Ahora bien, estos valores se cumplen cuando el cucharón está vacío, queda por averiguar cuánto tiempo más de maniobra es necesario cuando el cucharón está cargado. Se proponen los siguientes tiempos:

1. 15 s
2. 20 s
3. 25 s
4. 30 s

Entonces con estos datos se puede calcular el rendimiento de la máquina en m<sup>3</sup>/h a través de la Tabla 7

Tabla 7. Rendimientos en m<sup>3</sup>/h. Página 4 - 192 del Manual de Rendimiento Caterpillar.

Tiempos de Ciclo Calculados		CARGA ÚTIL CALCULADA DEL CUCHARÓN** — METROS CÚBICOS SUELTOS																		Tiempos de Ciclo Calculados			
Seg.	Min.	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,0	Ciclos por min.	Ciclos por seg.	
10,0	0,17																					6,0	360
11,0	0,18																					5,5	330
12,0	0,20	60	90	150	210	270																5,0	300
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1080	4,5	270	
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960	4,0	240	
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840	3,5	210	
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	544	630	720	3,0	180	
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600	2,5	150	
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480	2,0	120	
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408	1,7	102	
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360	1,5	90	
45,0	0,75										133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312	1,3	78
50,0	0,83																					1,2	72

Los valores obtenidos son: 48; 72; 36; 54; 24; 36 [m<sup>3</sup>/h]. Ahora, se procede a hacer un promedio de estos valores:

$$Rendimiento\ promedio = \left( \frac{48 + 72 + 36 + 54 + 24 + 36}{6} \right) \times \frac{m^3}{h} = 45 \frac{m^3}{h}$$

$$Rendimiento\ promedio = 45 \frac{m^3}{h}$$

Además, este valor es muy cercano a los valores de rendimiento indicados en los apuntes de Cátedra de Construcción de Carreteras. Dicho valor es:

$$Rendimiento\ promedio = 40 \frac{m^3}{h}$$

El consumo de combustible se obtuvo a partir del Manual De Costes Para Una Empresa De Movimiento De Tierras de Gema Ruiz Franco. Los valores obtenidos se muestran a continuación:

$$Consumo: 0,15 - 0,20 \frac{l}{kW \times h}$$

Teniendo en cuenta que 1 hp = 0,7457 kW el consumo queda como:

$$Consumo: 0,11 - 0,15 \frac{l}{hp \times h}$$

Adicionalmente se revisó los Apuntes de Cátedra de Construcción de Carreteras y se obtuvo:

$$Consumo: 0,13 - 0,14 \frac{l}{hp \times h}$$

### 11. Reunión informativa para vecinos del lugar.

Una vez definido por completo el proyecto se decidió realizar una exposición a los vecinos próximos al sitio de emplazamiento del vertedero para esclarecer todas las dudas que pudieran llegar a tener, escuchar sus propuestas y, además, para evitar posibles conflictos en un futuro. La exposición estuvo a cargo de la Ingeniera Irma Mercante. En la reunión estuvieron presente miembros del CEIRS, empleados de la Dirección de Ambiente de la Municipalidad de Guaymallén y el vecino más influyente del lugar.



*Figura 31. Reunión informativa para los vecinos de la zona*

Es importante destacar que esta actividad es realmente muy productiva ya que acerca a todas las partes que participan o participarán del proyecto, es decir: a quienes diseñan el proyecto que son los encargados de explicar detalladamente qué es lo que se va hacer (CEIRS), a la parte interesada cuya función es realizar la obra y ofrecer garantías y tiempos de realización de la obra (Dirección de Ambiente - Municipalidad de Guaymallén) y a quienes se verán afectados directamente de manera positiva o negativa por la realización del proyecto (vecinos del lugar). De esta manera se logran esclarecer todas las dudas sobre el proyecto y se genera un mayor compromiso entre todas las partes.

## 4.2. PROYECTO DE INNOVACION: ELABORACIÓN DE MEZCLAS CEMENTICIAS CON ADICIÓN DE PET TRITURADO OBTENIDO A PARTIR DE FLEJES RESIDUALES PARA LA EMPRESA MENDOCINA BARESÍ S.R.L.

El proyecto de innovación estudia la factibilidad de la incorporación de diferentes corrientes de residuos plásticos en mezclas cementicias (Proyecto B-355 Tipo IV SIIP, 2019-2021). Una de las corrientes de residuos son los flejes de PET. Estos flejes son utilizados para el transporte de envases de vidrio, utilizados en Mendoza por la industria del vino, entre otras.

Existen varias posibilidades de valorizar los flejes residuales. Entre ellas se encuentra la incorporación de flejes triturados en mezclas cementicias, como sustituto de las materias primas. A través de esta investigación, se pretendió elaborar mezclas con distintas dosificaciones de PET y ensayarlas para definir su viabilidad técnica para utilizarla en elementos constructivos, tales como adoquines, y bloques de mampostería

### 4.2.1 Actividades realizadas para realizar el proyecto de innovación

Las actividades realizadas para llevar a cabo el proyecto de innovación se enumeran y se explican a continuación:

#### 1. Búsqueda, lectura y análisis de antecedentes

Como primer paso en la realización del proyecto de innovación se estudiaron informes y publicaciones de otros investigadores para obtener porcentajes de incorporación de plástico usuales en las mezclas cementicias. Para ello se eligieron varios artículos del tema y se dividieron entre los miembros del CEIRS que participaron en este proyecto.

#### 2. Estudio de la Norma IRAM 11656 de elaboración de adoquines

Se estudió de forma completa la Norma IRAM 11656 de adoquines de hormigón para **pavimentos intertrabados** (sexta edición 2019 – 05 – 29).

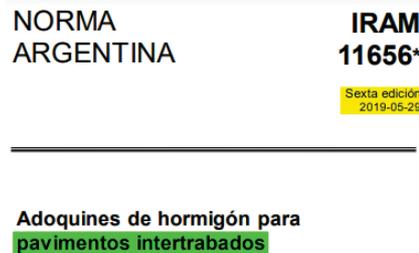


Figura 32. Portada Norma IRAM 11656.

Adicionalmente se realizó una comparación con la Norma IRAM 11626 de adoquines de hormigón para **pavimentos articulados** (segunda edición 1998 – 11 – 05).

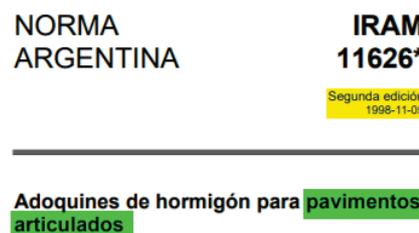


Figura 33. Portada Norma IRAM 11626.

De la comparación se observó la diferencia entre cada uno de los ensayos requeridos por cada norma, la 11626 solicita ensayo de resistencia a la compresión de los adoquines, mientras que la 11656 requiere ensayo de resistencia a flexión sobre los adoquines (módulo de rotura). Esta diferencia se debe a que, en una primera instancia, se pensaba que los pavimentos conformados por adoquines funcionaban de tal forma de que cada adoquín, de forma individual, iba a estar solicitado a compresión. Luego, con el avance en la investigación en el tema de pavimentos conformados por adoquines, se comprendió que los adoquines en su conjunto y, debidamente trabados, conforman una estructura que resiste flexión.

La norma IRAM 11656 está dividida en 8 capítulos que se mencionan a continuación:

- a. Objeto y campo de aplicación
  - b. Documentos normativos para consulta
  - c. Definiciones
  - d. Clasificación
  - e. Requisitos físicos
  - f. Muestreo
  - g. Métodos de ensayo
  - h. Rechazo
  - i. Anexo
3. Capacitación en la Norma IRAM 11656 de elaboración de adoquines.

Se realizó una exposición sobre la norma a todos los miembros del CEIRS. Para ello se elaboró una presentación en Power Point, en la cual, en los primeros capítulos se explicaron las nociones básicas de los pavimentos intertrabados y su funcionamiento, luego, se realizó una comparación entre las normas mencionadas en el punto anterior y, finalmente, se explicó en detalle toda la Norma IRAM 11656 para comprender todas las mediciones, ensayos, límites a cumplir, y, de forma general, los requerimientos de la norma para elaborar adoquines.

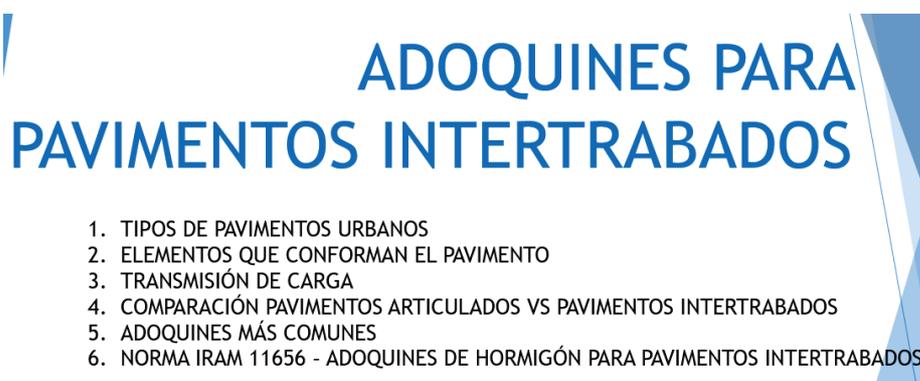


Figura 34. Portada del Power Point para la capacitación dictada al CEIRS sobre la Norma IRAM 11656.

#### 4. Granulometría del PET triturado.

Para caracterizar el material se realizó la granulometría del material, es decir, la distribución por tamaños; se trata de una propiedad muy importante a la hora de incorporar un material a mezclas cementicias.

La actividad se realizó en el laboratorio del CEIRS y se utilizaron los tamices de la serie de Tyler que se muestran a continuación en las siguientes imágenes, también se utilizó el tamizador mecánico y la balanza para obtener los pesos de los tamices y, luego de haber realizado el tamizado, los pesos de los tamices junto con su retenido de material.

Se consultó la Norma IRAM 1505 sobre agregados gruesos para elegir el peso de la muestra que debía ser tamizada. Por el tamaño máximo nominal la norma indica que se deben tamizar 2 kg del material, sin embargo, se debe tener en cuenta que la norma es para agregados gruesos, y lo que se desea tamizar en este caso es PET triturado, así que se decidió tener en cuenta la relación de pesos específicos para disminuir el tamaño de la muestra y no obturar los tamices con el material debido al gran volumen ocupado por el mismo. Finalmente, el peso de la muestra quedó como:

$$Muestra_{PET\ triturado} = 2\ kg \times \frac{1}{3} = 0.666\ kg \cong 0.700\ kg = 700\ g$$



*Figura 35. Material colocado en la serie de tamices.*

Es importante mencionar que, por las características de triturado del material, se encontraron grandes dificultades para realizar el tamizado mecánico por lo que también se debió realizar tamizado manual para ciertos tamices. Esto se debe a que por la forma en que se trituró el material quedaron conformadas partículas más bien alargadas, lo que ocasionaba que el material adoptara una configuración tal dentro de los tamices que impedía el paso de partículas más pequeñas. Esta observación también lleva a pensar en que tal vez la empresa debería realizar un triturado más fino para tener un material con mejor granulometría para mezclas cementicias.



*Figura 36. Distribución por tamaños lograda a partir de una combinación de tamizado manual y tamizado mecánico.*

En una primera instancia se realizó el tamizado de la primera mitad de la serie ya que no era posible colocar la torre entera de tamices en el tamizador mecánico. Además, se revisaba cada cierto tiempo de tamizado que el material no estuviera obstruyendo algún tamiz.

Si bien se explicó que el peso de la muestra considerado era de 700 g, al momento de realizar el ensayo se siguió observando demasiada obturación en los tamices por lo que se decidió reducir aún más la muestra. Los datos finales de la muestra son:

<b>Peso Muestra</b>	0.445	<b>[kg]</b>
<b>Muestra</b>	A	
<b>Material</b>	PET triturado	
<b>Procedencia</b>	Baresi	

Los datos de los pesajes de los tamices se anotaron en una hoja de laboratorio y luego se volcaron a una tabla en el programa Excel (Tabla 8)

Tabla 8: Distribución por tamaño del material analizado.

Tamiz	Abertura			Peso	Peso + retenido	Retenido	Ret. Acum.	Pasante	Pasante
Designación	[pulg.]	[cm]	[mm]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[%]
1 1/2 "	1.5	3.810	<b>38.100</b>	0.355	0.355	0.000	<b>0.000</b>	0.433	<b>100.00</b>
1 "	1	2.540	<b>25.400</b>	0.390	0.390	0.000	<b>0.000</b>	0.433	<b>100.00</b>
3/4 "	0.75	1.905	<b>19.050</b>	0.370	0.370	0.000	<b>0.000</b>	0.433	<b>100.00</b>
1/2 "	0.5	1.270	<b>12.700</b>	0.610	0.615	0.005	<b>0.005</b>	0.428	<b>98.85</b>
3/8 "	0.375	0.953	<b>9.525</b>	0.475	0.485	0.010	<b>0.015</b>	0.418	<b>96.54</b>
N° 4		0.000	<b>4.800</b>	0.355	0.445	0.090	<b>0.105</b>	0.328	<b>75.76</b>
N° 8		0.000	<b>2.400</b>	0.330	0.590	0.260	<b>0.365</b>	0.068	<b>15.71</b>
N° 16		0.000	<b>1.200</b>	0.300	0.355	0.055	<b>0.420</b>	0.013	<b>3.01</b>
N° 30		0.000	<b>0.590</b>	0.320	0.330	0.010	<b>0.430</b>	0.003	<b>0.70</b>
N° 50		0.000	<b>0.297</b>	0.300	0.301	0.001	<b>0.431</b>	0.002	<b>0.47</b>
N° 100		0.000	<b>0.149</b>	0.300	0.302	0.002	<b>0.433</b>	0.000	<b>0.00</b>
N° 200		0.000	<b>0.075</b>	0.275	0.275	0.000	<b>0.433</b>	0.000	<b>0.00</b>
Fondo		0.000	<b>Pasa N° 200</b>	0.390	0.390	0.000	<b>0.433</b>	0.000	<b>0.00</b>

Se observa que el porcentaje retenido del tamiz N° 8 es alrededor del 60% del peso de la muestra. Además, la balanza utilizada no era tan sensible por lo tanto en algunos tamices no se logró registrar peso y en consecuencia el peso de la muestra se ve reducido (observe el peso retenido acumulado en el fondo de la serie de tamices). Se calcula la diferencia en % con el peso de la muestra real.

$\Sigma$ [kg]	<b>0.433</b>
$\Delta$ [g]	<b>12.0</b>
$\Delta$ [%]	<b>2.70%</b>

Se concluye que se debería realizar otra granulometría con una balanza más sensible para contemplar todo el peso de la muestra en el análisis de datos. La curva granulométrica se muestra en la siguiente gráfica:

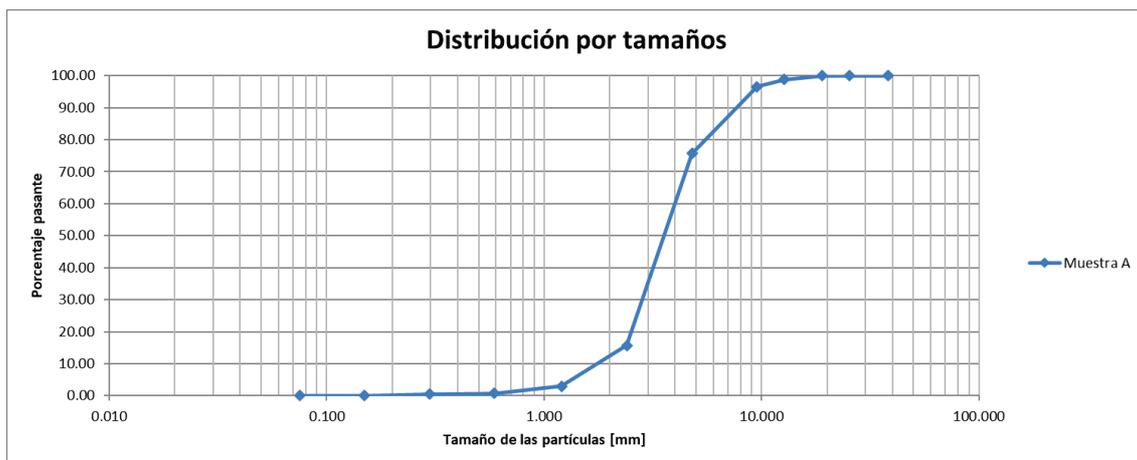


Figura 37. Curva granulométrica de PET triturado obtenido de flejes reciclados.

5. Conformación de adoquines: elaboración de mezcla, llenado, vibrado y curado.

La producción de los adoquines se llevó a cabo en el laboratorio del CEIRS junto con el Ingeniero Juan Pablo Ojeda. Se elaboraron un total de 18 adoquines, 3 para cada porcentaje propuesto; la terna patrón (0 % de incorporación de plástico) y 5 porcentajes crecientes de incorporación de plástico (1;5;10;15 y 20). Las diferentes ternas de adoquines se identificaron de la siguiente manera XA, XB y XC donde X es el porcentaje de incorporación de plástico; ejemplo: 5A, 5B y 5C corresponden a la terna de adoquines a cuya mezcla se le incorporó 5% de PET triturado.

En primer lugar, se reunieron todos los elementos (materiales, herramientas y elementos de seguridad) necesarios para producir los adoquines:

Materiales:

- Agua
- Cemento
- PET triturado
- Arena

Herramientas:

- Taras
- Balanza
- Mezcladora
- Cucharas
- Cono Abrams
- Varillas de acero liso
- 9 moldes de adoquines
- Martillos de goma
- Papel filme
- Planilla de laboratorio

Elementos de seguridad:

- Guantes
- Gafas
- Guardapolvo
- Barbijo

Luego, comenzando con la producción de la mezcla, se pesan las cantidades de los materiales utilizando las taras y la balanza respetando las cantidades especificadas en las dosificaciones diseñadas previamente. A continuación, se coloca la arena, el cemento y el agua en la mezcladora, se enciende la misma y se inicia con el mezclado. Después de unos minutos se vierte la mezcla en el cono Abrams y se realiza el ensayo de consistencia midiendo el asentamiento de la mezcla.



Figura 38. Enrasamiento mediante varilla lisa de acero de la mezcla dentro del cono Abrams.

Como era de esperarse, en la medida que se incorporaba plástico a la mezcla el asentamiento disminuía. Para los porcentajes más altos (15 y 20) no se registró asentamiento.

Finalmente, se coló la mezcla en los moldes con ayuda de las cucharas y se vibró mediante golpes con martillo de goma, de esta forma quedó conformado la primera terna de adoquines con 0% de incorporación de plástico, es decir, la terna de comparación. Así pues, el proceso se repitió de igual manera para elaborar los demás adoquines con porcentajes crecientes de incorporación de plástico (1;5;10;15 y 20); se añadía plástico, se mezclaba, se realizaba el ensayo de asentamiento, se colaba la mezcla, se colaba la mezcla en el molde y se vibraba.



Figura 39. Adoquines conformados

Los adoquines se cubrieron con un filme plástico para evitar la pérdida de humedad y se dejaron un día para que logren endurecer, luego fueron llevados al tanque de curado.

Al día siguiente de la elaboración de los adoquines, estos se desmoldaron cuidadosamente y se llevaron al tanque de agua para curado del laboratorio bajo temperatura controlada (22°C) y pH básico durante 28 días.

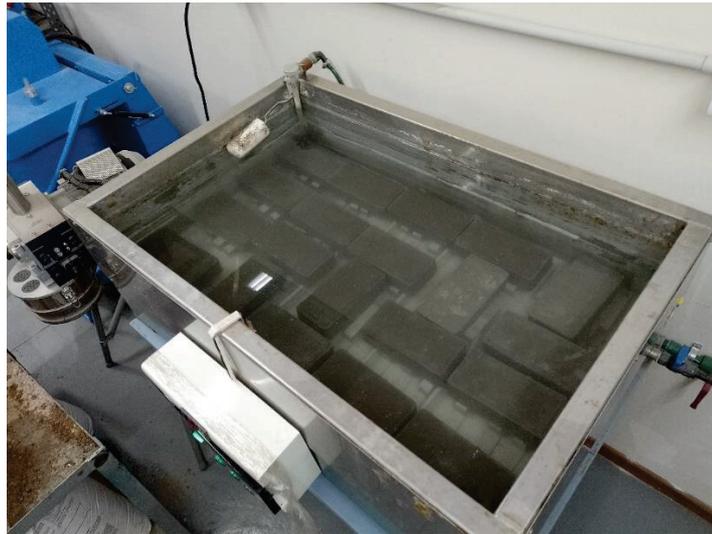


Figura 40. Adoquines en el tanque de agua para curado.



Figura 41. Control de temperatura del agua del tanque.

#### 6. Medición e inspección visual de los adoquines.

Luego de los 28 días de curado los adoquines se retiran del tanque y se secan con un trapo, de esta forma quedan en estado saturado y con superficie seca (SSS) listos para ser pesados y obtener su masa húmeda (vea el punto siguiente).

Después de esto, se procede a tomar las medidas de las distintas dimensiones de cada uno de los adoquines como lo son el ancho, el largo y el espesor (se requieren 4 mediciones de cada dimensión;  $3 \times 4 \times 18 = 216$  mediciones en total). Además, se requieren mediciones de los elementos que conforman el adoquín: ancho y largo de los separadores y proyecciones horizontal y vertical del bisel. Las mediciones se realizaron con un calibre con lectura electrónica como se muestra en la siguiente figura:



Figura 42. Medición de las dimensiones de los adoquines utilizando un calibre electrónico.

Peso y dimensiones de adoquines		Peso y dimensiones de adoquines																									
Peso saturado (27/10) [g]	Ancho 1 [mm]	Ancho 2 [mm]	Ancho 3 [mm]	Ancho 4 [mm]	Largo 1 [mm]	Largo 2 [mm]	Largo 3 [mm]	Largo 4 [mm]	Espesor 1 [mm]	Espesor 2 [mm]	Espesor 3 [mm]	Espesor 4 [mm]	Separadores 1 ancho [mm]	Separadores 2 ancho [mm]	Separadores 2 largo [mm]	Separadores 3 largo [mm]	Separadores 4 largo [mm]	Bisel proyección horizontal 1 [mm]	Bisel proyección horizontal 2 [mm]	Bisel proyección horizontal 3 [mm]	Bisel proyección horizontal 4 [mm]	Bisel proyección vertical 1 [mm]	Bisel proyección vertical 2 [mm]	Bisel proyección vertical 3 [mm]	Bisel proyección vertical 4 [mm]	Peso seco (28/10) [g]	
0A	2475	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59	1,6	1,7													
0B	2440	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
0C	2410	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
1A	2405	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
1B	2380	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
1C	2380	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
5A	2355	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
5B	2305	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
5C	2315	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
10A	2305	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
10B	2285	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
10C	2285	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
15A	2190	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
15B	2115	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
15C	2105	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
20A	1855	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
20B	1840	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															
20C	1860	150	150	150	195	195	195	195	59	59	59	59															

Figura 43. Tabla de anotaciones de los datos obtenidos.

Si bien la norma explica que deben tomarse las mediciones de todos los elementos que conforman el adoquín por una cuestión operativa se decidió realizar una descripción visual de los mismos, como lo son los separadores y los biseles.

Debido a cuestiones operativas y de practicidad, ciertas mediciones no se realizaron y se decidió describir de forma cualitativa el estado general de los elementos de los adoquines según el porcentaje de incorporación de plástico que tenían.

4) Los separadores de los dosif.

0%  
 1%  
 5%  
 10%  
 Se conservan en buen estado genl.

=> Para dosif. 15% presentar degradación total o parcial de los separadores

hasta 2 sep x adoquín están completamente destruidos.  
 hasta 3 sep x adoquín presentan degradación parcial

=> Para dosif. 20% representar la mayoría de los separados.  
 Solo se observan algunos separadores parcialmente constituidos

Dosif. 20%  
 El nivel presenta una forma genl. con zonas degradadas y no pueden realizarse mediciones dadas

Muestra	Color	Forma	Pérdida
0	Uniforme	No hay	No presenta
1	"	"	" * Se observan algunos hilos en la sup.
5	"	"	" " " " No hay pérdida
10	"	En cara de superficie (f = 5cm) máx. En todos los caras en genl.	Aumento notablemente la porosidad abierta No hay pérdida
15	"	Hay pero no se nota por la gran porosidad máx. F (f = 6cm)	Aumento mucho más la porosidad Se desprende algo de material (leve)
20	"	Muchas No se observan fibras se forman	Muchos defectos de la terminación superficialmente Se desprende material (más notorio)

Figura 44. Hoja de laboratorio en la cual se anotó los defectos observados en los adoquines.

En la medida en que se incrementa el contenido de PET triturado los defectos son cada vez más notorios (desprendimiento de material o biseles y separadores no conformados).



Figura 45. Adoquines mal conformados

A partir de cierto porcentaje de incorporación de plástico no se logra conformar de manera adecuado los distintos elementos del adoquín, además de que el material final es claramente muy poroso superficialmente lo que indicaría una fuerte caída en la resistencia a la abrasión. (Figura 51)

### 7. Ensayo de absorción.

Tal y como indica la norma, se debe realizar el ensayo de absorción para determinar cuánta agua pueden retener los adoquines. Para obtener el porcentaje de absorción se debe conocer el peso del adoquín en estado saturado y superficie seca luego de haber pasado 24 horas sumergidos, también se debe conocer el peso del adoquín en estado seco luego de haber pasado 24 horas en horno a 110 °C; finalmente por diferencia referida al peso seco se conoce el porcentaje de absorción.

Entonces, para aprovechar que los adoquines han estado 28 días de curado en el tanque con agua, se los retira del tanque y se seca su superficie con un trapo.



*Figura 46. Adoquines siendo retirados del tanque de curado del laboratorio del CEIRS luego de haber permanecido 28 días para que adquieran su máxima resistencia. Se observa que se está retirando la humedad superficial para dejar los adoquines en estado SSS*



*Figura 47. Los adoquines en estado SSS se disponen en orden según su contenido de plástico*

Después de esto se procede a pesar cada uno de ellos y anotar los datos obtenidos en una planilla. A partir de este punto, por conveniencia operativa, se decide seguir con la medición de las dimensiones de los adoquines y las partes que lo conforman antes de colocarlos en el horno para secarlos.



Figura 48. Pesaje de adoquín en estado SSS en balanza.

Finalmente, una vez que se han tomado las medidas de los adoquines, se los colocó en el horno de secado a 105 °C durante 24 horas para, posteriormente, obtener el peso de los adoquines en estado seco. Luego, para obtener el porcentaje de absorción realizamos el siguiente cálculo para cada uno de los adoquines:

$$Aa = \left( \frac{Mh - Ms}{Ms} \right) \times 100 [\%]$$

en donde Ms es la masa seca y Mh es la masa húmeda.



Figura 49. Secado de adoquines en el horno del laboratorio del CEIRS.

### 8. Ensayo de resistencia a flexión en colaboración con ITIEM.

Los adoquines se ensayaron a flexión en el Instituto Técnico de Investigaciones y Ensayo de Materiales (ITIEM) del DETI II o IMERIS. La realización de los ensayos estuvo a cargo del Ingeniero Raúl Zaradnik.



*Figura 50. Adoquín con alto contenido de flejes de PET triturado siendo ensayado a flexión en la máquina universal de ensayos.*

Luego de obtener la carga máxima de rotura ( $C_{\text{máx}}$ ), y, junto con la luz de ensayo ( $L_e$ ) es posible entonces calcular el módulo de rotura a flexión ( $M_r$ ) mediante la siguiente expresión obtenida la Norma IRAM 11656, previamente también se deben haber obtenido el ancho y espesor reales de la probeta ( $a_r$  y  $e_r$ , respectivamente).

$$M_r = \frac{3 \cdot C_{\text{máx}} \cdot L_e}{2a_r \cdot e_r^2}$$

Observando los resultados de los ensayos se concluye que la incorporación de plástico disminuye fuertemente la resistencia (módulo de rotura a flexión). Esto se debe en gran medida a que la resistencia a flexión del adoquín viene dada en gran medida por el agregado grueso de la mezcla que ahora ha sido reemplazado por plástico. Sin embargo, durante los ensayos se observó que algunas tiras de PET quedaron orientadas en la matriz del adoquín de tal forma de que ofrecían cierta resistencia por lo que se podría considerar elaborar los adoquines orientando preferencialmente las tiras de PET en el sentido de los esfuerzos axiales desarrollados por flexión.

Cabe mencionar que, para la elaboración de la mezcla, se utilizó una relación agua / cemento algo elevada lo que también pudo haber afectado fuertemente en la disminución de la resistencia. A continuación, se observa un adoquín luego de haber sido ensayado:



*Figura 51. Adoquín con incorporación de flejes de PET triturado luego del ensayo de flexión.*

#### 4.3. OTRAS ACTIVIDADES EN EL CEIRS

El CEIRS recibe diariamente invitaciones de parte de empresas que se dedican al reciclaje de diversos tipos de residuos tales como plásticos, caucho, provenientes de aparatos eléctricos y electrónicos, etc. De esta forma se mantiene contacto directo con las empresas del medio local que participan en actividades relacionadas con los residuos sólidos con lo cual es posible: afianzar lazos con los industriales del rubro, formar relación con las distintas municipalidades del Gran Mendoza, mantenerse a la vanguardia sobre los nuevos problemas que surgen y que involucran a los residuos sólidos y, eventualmente, conseguir financiamiento para poder continuar con las diversas investigaciones que se llevan a cabo en el CEIRS.

Adicionalmente los miembros del CEIRS dan conferencias tanto en el ámbito nacional como en el medio internacional, y, a su vez, organizan conferencias en las que participan profesionales de otros países dedicados al sector de residuos sólidos.

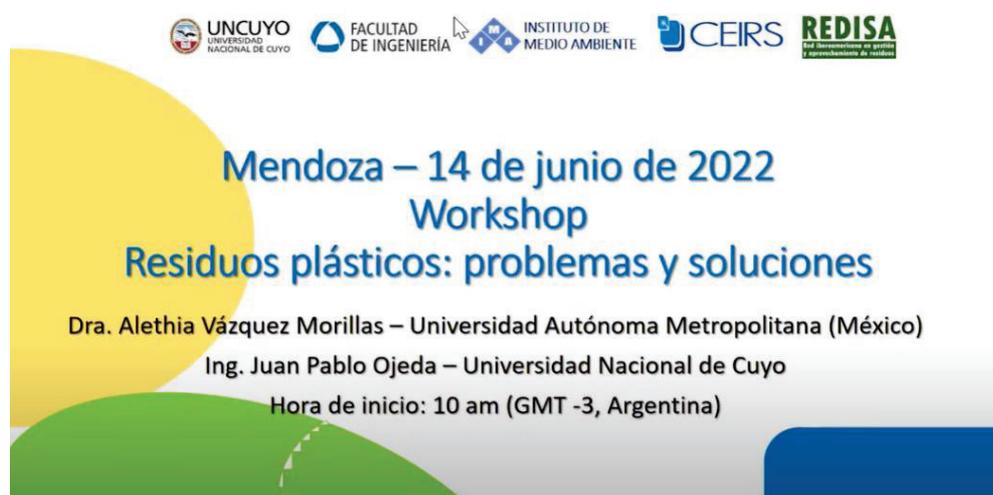


Figura 52. Conferencia sobre residuos plásticos en donde expusieron la Dra. Alethia Vázquez Morillas de la Universidad Autónoma Metropolitana de México y el Ing. Juan Pablo Ojeda de la Universidad Nacional de Cuyo. La conferencia se realizó en el edificio de aulas de la Facultad de Ingeniería y fue tanto en modalidad virtual como presencial. Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=r4Rf-8NJ4I>

Se destaca entonces la gran importancia que tienen estas actividades para el CEIRS y, en consecuencia, para el IMA, la Facultad de Ingeniería y para la Universidad Nacional de Cuyo.

### **4.3.1 Visita al centro de separación *Centro Verde de Guaymallén***

El Centro Verde de Guaymallén es un centro de separación de RSU para su posterior venta como materia prima para las empresas recicladoras.



*Figura 53. Centro Verde de Guaymallén.*

Como bien se sabe, los RSU están constituidos por residuos orgánicos, plásticos, metales, vidrios, papel y cartón. El Centro Verde recibe únicamente los residuos reciclables (plásticos, metales, vidrios, papel y cartón) provenientes de grandes generadores de residuos (supermercados, por ejemplo) y puntos de separación voluntaria. Luego, estos residuos son separados según distintas categorías, colocados en bolsones y, finalmente, vendidos a empresas recicladoras.

El Centro Verde constituye además una salida laboral regulada para personas que, de otra forma, tendrían una situación laboral precarizada.



*Figura 54. Proceso de separación de residuos reciclables.*

#### **4.3.2 Visita a la empresa recicladora de RAEE *Reciclarg***

La empresa *Reciclarg* se dedican a reciclar residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y, además, a reparar aparatos de todo tipo para su posterior venta como productos de segunda mano reparados. Los RAEE son obtenidos a partir del desguace de aparatos tales como CPUs, computadores portátiles, televisores, celulares, etc. Dichos residuos tienen ciertos metales de alto valor como el oro y la plata. Por supuesto de que la obtención de estos metales no es sencilla, requiere un proceso complejo con tecnología que no está disponible en el país. Por este motivo es que la empresa se dedica a la exportación de los RAEE. También recupera y reacondiciona aparatos (CPUs, monitores, etc.) para su posterior venta como artículos de segunda mano.



*Figura 55. Bolsón de placas electrónicas.*

La particularidad de estos residuos es que tienen un alto contenido de metales pesados (cadmio, plomo y níquel) por lo que podrían llegar a ocasionar serios problemas de contaminación de suelos en el caso de que se traten como si fueran RSU, por esta razón es importante tratarlos por separados y evitar que lleguen a los vertederos de RSU. Además, tratarlos como RSU implicaría un gran desperdicio de recursos ya que hay que tener en cuenta que los componentes de estas placas electrónicas se generan a partir de la industria de la minería.



*Figura 56. Taller de desguace de aparatos eléctricos y electrónicos.*

### **4.3.3 Visita a la empresa recicladora de residuos plásticos Baresi**

La empresa Baresi, recicladora de plásticos, utiliza los residuos plásticos provenientes de distintas industrias (como la industria petroquímica, por ejemplo) para crear materia prima destinada a la producción de nuevos productos plásticos (bolsas plásticas, por ejemplo).



*Figura 57. Entrada a la planta recicladora de la empresa.*

De forma general se puede mencionar que la empresa cuenta con un playón de acopio de residuos provenientes de distintas industrias y con una planta recicladora compuesta por varios procesos para conformar producto final: el proceso de trituración de los residuos plásticos, luego el proceso de fundición del material reciclado triturado y elaboración de la materia prima y, finalmente, el empaquetado de la materia prima. Por supuesto que la empresa cuenta con una nave en la que se acopia la materia prima producida.



*Figura 58. Residuos plásticos triturados listos para ser fundidos y, posteriormente, convertidos en materia prima.*

Con respecto a las problemáticas o limitaciones que debe enfrentar la empresa, se pueden mencionar varias:

- **La pureza en la composición de los residuos recibidos** es muy importante para el proceso de reciclaje ya que el producto final se ve fuertemente afectado por la misma, dicho de otra forma, en la medida de que los residuos plásticos sean de diversas composiciones (por nombrar algunos tipos de plástico: PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, etc.) y, además estén mezclados, el proceso de reciclaje se vuelve inviable y se prefiere descartar estas mezclas de plásticos.
- **La cantidad de residuos recibidos** (en toneladas por mes) está relacionada directamente con la cantidad de materia prima producida, dicho aprovisionamiento de material para producción se ve limitado principalmente por dos factores que se nombran a continuación: las mejoras enfocadas en la reducción de residuos en los procesos de producción de las industrias proveedoras y la competencia de otras empresas de otras provincias en la compra y transporte de residuos.
- **Los costos de la energía** debido al consumo de las grandes máquinas utilizadas en el proceso de triturado y fundición; en general este es un problema transversal a cualquier industria que dependa fuertemente de la operación de máquinas.



*Figura 59. Residuos plásticos provenientes de la industria petroquímica, a los mismos todavía les falta pasar por el proceso de triturado para luego poder ser fundidos y finalmente, ser transformados en materia prima y embolsados. Note que los residuos de esta industria cumplen con las dos premisas necesarias (pureza y cantidad) para desarrollar una producción sostenible para la empresa.*



*Figura 60. Materia prima producida por la empresa, se trata de pequeñas lentejuelas de distintos colores (en este caso negras) según el color del plástico reciclado a partir del cual han sido conformadas.*

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se indican los resultados generales que se obtuvieron sobre cada actividad realizada.

### 5.1 RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD DE TRANSFERENCIA

A partir de la finalización del proyecto ejecutivo de vertedero de residuos de construcción y demolición se obtuvieron los siguientes resultados:

- El proyecto será ejecutado por la Municipalidad de Guaymallén. Posteriormente también será el operador del vertedero.
- Con respecto al material que conformará los terraplenes de cierre del vertedero, se ha aclarado en el proyecto ejecutivo que se deberían hacer con suelo de yacimiento (se ha aclarado que la opción de utilizar suelo del lugar está descartada desde un inicio debido a que se desenterrarían gran cantidad de RSU de tiempo pasado) como se haría generalmente un terraplén. Sin embargo, la Municipalidad prefería realizarlos con los mismos RCD alegando motivos económicos; decisión con la que no estoy de acuerdo ya que dificultaría la construcción y, además, tendría un aspecto poco estético.
- En mi opinión, el sitio de emplazamiento elegido es adecuado ya que se trata de un terreno el cual ya posee un elevado grado de impacto ambiental y, por lo tanto, difícilmente se encuentre otra utilidad para el mismo que no sea el vertido de residuos.
- Sin embargo, no estoy de acuerdo en que la Municipalidad haya sido la encargada de elegir el sitio ni tampoco en que sea la encargada de la ejecución del proyecto y de la operación. La gestión de residuos, y en particular la disposición final debería estar a cargo de un organismo central (este punto se explica con más detalles en las conclusiones).
- Cabe destacar que el proyecto será muy beneficioso para los habitantes cercanos al lugar ya que se evitarán vertidos ilegales, quemas, etc.

### 5.2 RESULTADOS DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN

A partir de la finalización del proyecto de innovación se obtuvieron los siguientes resultados:

- En mi opinión, la incorporación de plástico en mezclas cementicias sólo se debe considerar en la medida de que mejore alguna propiedad del elemento en su estado fresco o endurecido, de otra forma sólo se estaría escondiendo el residuo en elementos de hormigón que, cuando cumplan su vida útil, deberán ser demolidos y el problema del residuo plástico perduraría.
- Siguiendo con el punto anterior, se puede mencionar que los elementos de hormigón con plástico adicionado al cumplir su vida útil deberán ser demolidos y, nuevamente se tendrá el residuo plástico y, por supuesto, el residuo de hormigón demolido, ambos mezclados. Este resultado final de mezcla de residuos disminuye claramente el potencial de reciclaje del hormigón demolido como agregado en hormigones nuevos y el problema del residuo plástico no se ha resuelto.
- También cabe destacar que, en la provincia, este material debería competir con los materiales tradicionales de ripiera. Esto es una gran desventaja, principalmente, en el medio local.
- Además, como recomendación personal, creo que se debería mejorar la trituración del material para evitar problemas mencionados en capítulos anteriores (ver *Granulometría del PET triturado*).
- A pesar de lo mencionado anteriormente, considero que se debe seguir investigando y probando aplicaciones de este material hasta encontrar una buena utilidad.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. ACERCA DE LOS PROYECTOS REALIZADOS

#### **6.1.1. Sobre la actividad de transferencia**

La industria de la construcción genera una cantidad considerable de residuos, en su mayoría son inertes que tardan muchos años en degradarse y, por lo tanto, perdurarán una gran cantidad de tiempo en el sitio en el que sean vertidos. Además, en la provincia de Mendoza, es muy común encontrarse con terrenos baldíos en los que se vierten estos residuos de forma descontrolada e ilegal. Esta actividad de vertido provoca que dichos terrenos queden de alguna forma inutilizados para realizar actividades tales como la construcción de nuevas edificaciones por los problemas de cimentación que surgen en estos suelos mezclados con residuos, la agricultura por obvias razones, etc. Cabe mencionar que el terreno en este estado de contaminación adquiere un costo adicional importante de limpieza que deberá enfrentar el dueño del sitio a la hora de querer realizar alguna actividad en el mismo.

Se destaca entonces, por lo expuesto en el párrafo anterior, la relevancia que tiene el proyecto de vertedero de RCD realizado para la Municipalidad de Guaymallén ya que se trata del primer vertedero destinado especialmente para este tipo de residuos en la provincia de Mendoza y, por lo tanto, marca un antecedente importante para los proyectos futuros. De más está decir que es posible mejorar una gran cantidad de aspectos en lo que respecta al diseño del vertedero, por ejemplo, la estimación de la vida útil del mismo; para lograr ello se debe seguir investigando este residuo y su generación para obtener datos más certeros (toneladas RCD / mes, toneladas RCD / m<sup>2</sup> construido, m<sup>2</sup> construidos / mes, etc.).

#### **6.1.2. Sobre el proyecto de innovación**

A la fecha de elaboración del informe existe un auge en lo que respecta a incorporar material residual plástico reciclado en las mezclas cementicias con el fundamento de disminuir la contaminación por dichos residuos. Esta idea es aceptable siempre y cuando la incorporación de este material mejore propiedades de la mezcla en alguno de sus estados (fresco o endurecido); por lo visto en el proyecto se concluye que la resistencia mecánica (resistencia al desgaste y resistencia a flexión) disminuirá al adicionar plástico a la mezcla debido a la formación de poros superficiales del elemento final conformado a causa de la poca afinidad que existen entre el plástico y la pasta de cemento y por la diferencia de resistencia entre el agregado grueso y el plástico.

El otro inconveniente adicional que existiría con estos elementos de hormigón con plástico adicionado es que cuando cumplan su vida útil deberán ser demolidos y, nuevamente se tendrá el residuo plástico y, por supuesto, el residuo de hormigón demolido, ambos mezclados. Este resultado final de mezcla de residuos disminuye claramente el potencial de reciclaje del hormigón demolido como agregado en hormigones nuevos y el problema del residuo plástico no se ha resuelto. Debido a este fundamento es que se recomienda elaborar elementos que involucren únicamente al material residuo plástico para resolver el problema de contaminación por residuos plásticos, en definitiva, volver a introducir el material en el ciclo de producción.

Finalmente, cabe mencionar que al trabajar con materiales nuevos es necesario tener cierta flexibilidad e interpretación a la hora de aplicar normas que fueron elaboradas para otros materiales ya que intentar aplicar de forma rigurosa la norma traerá consigo problemas operativos en los trabajos de laboratorio (ver punto de ensayo granulométrico del PET triturado).

## 6.2. ACERCA DE LOS RESIDUOS

### 6.2.1. Conclusión general sobre el manejo de los residuos sólidos

En síntesis, considero que el problema de contaminación por residuos sólidos se debería colocar como tema estratégico, a nivel municipal, provincial y nacional con el objetivo de crear un ordenamiento centralizado de la gestión de los residuos sólidos y evitar el gran descontrol que existe al día de la fecha de elaboración de este informe (basurales a cielo abierto, vertidos ilegales en terrenos baldíos, quemas clandestinas, precarización laboral de los recuperadores de residuos, situaciones sanitarias peligrosas de los habitantes cercanos a basurales, etc.). Dicho objetivo lo podría lograr un organismo central que determinara directrices a perseguir en cuanto a la disposición de lugares de vertido, por ejemplo. Además, este organismo central podría nuclear a todos los centros de investigación de residuos sólidos o a los profesionales de primera línea dedicados al tema que existen en el país con el fin de determinar dichas directrices de ordenamiento.

### 6.2.2. Conclusión sobre cada tipo de residuo investigado y observado en el periodo de prácticas

- Sobre el reciclaje de los residuos plásticos. En mi opinión, la incorporación de plástico en mezclas cementicias **sólo se debe considerar en la medida de que mejore alguna propiedad del elemento en su estado fresco o endurecido**, de otra forma sólo se estaría *escondiendo* el residuo en elementos de hormigón que, cuando cumplan su vida útil, deberán ser demolidos y el problema del residuo plástico perduraría. Por ahora la mejor opción para reciclar este material pareciera ser volver a fundir el material y volver a insertarlo en el ciclo de producción como materia prima. Sin embargo, considero que se debe seguir investigando y experimentando con estos materiales para lograr darles alguna utilidad.
- Sobre el reciclaje de RCD. A nivel regional, esta actividad encuentra una gran dificultad ya que se debería lograr que este material tratado compita con los materiales tradicionales de ripieras. El costo asociado al reciclaje de este residuo es elevado debido a las horas máquinas necesarias para transportar el material, separarlo, manejarlo, triturarlo, etc.; se trata entonces de una actividad fuertemente limitada por el costo de la energía. Sin embargo, es posible que fuera del medio local, en otras provincias en las que no es posible disponer de material de ripiera tan fácilmente, por ejemplo, esta actividad pudiera ser factible.
- Sobre el reciclaje de RSU. Una vez que estos residuos están mezclados y vertidos se vuelve muy difícil y costoso intentar reciclarlos, es por lo que se debe apuntar a la separación en los centros de generación de residuos, es decir, en cada hogar, restaurante, institución, etc. Además, no es condición suficiente separar los residuos para lograr una gestión adecuada de los mismos, sino que la recolección de estos también debe ser diferenciada para su posterior traslado a una estación de transferencia o vertedero según corresponda.
- Sobre el reciclaje de RAEE. Tiene mucho potencial debido a dos puntos principalmente: los recursos obtenidos a partir de su reciclaje son muy valiosos y se trata de un residuo del que cada vez se va a generar más cantidad. Sería interesante estudiar la tecnología empleada para su tratamiento y su factibilidad.

## 6.3. ACERCA DE LAS PRÁCTICAS

Desde mi punto de vista, las prácticas profesionales supervisadas constituyen una parte fundamental en la formación del estudiante de ingeniería civil ya que permiten poner a prueba

los conocimientos y herramientas adquiridas a lo largo de todos los años de estudio. En mi opinión la facultad brinda, en gran medida, todas las herramientas necesarias para lograr un buen desempeño en cualquier área de incumbencia de la carrera; depende de cada estudiante saber qué herramienta utilizar, cuándo y por qué. Por supuesto que la formación y especialización en cada área en particular debe ser continua en el tiempo.

También considero que nunca está demás repasar los fundamentos que gobiernan un problema a la hora de enfrentarse a un desafío de cualquier índole, por más sencillo que este parezca.

Como recomendación, me parece importante también que la cátedra de la materia tenga en consideración la posibilidad de incluir los trabajos de investigación como prácticas profesionales ya que se trata de un área muy interesante dentro de la ingeniería civil y, además, al estar dicha carrera catalogada como de tipo estratégica, es fundamental para el desarrollo sostenido del país la formación de ingenieros investigadores en las diversas áreas que existen, y más aún, en un tema tan importante como lo es la gestión de residuos sólidos. Además, existen una gran cantidad de alumnos muy interesados en el área de investigación por lo que sería conveniente que pudieran presentar sus trabajos de investigación como prácticas profesionales supervisadas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Vidal R. A. (2012). *Trabajo final de la Especialización en Ingeniería Ambiental: clausura de un vertedero municipal en Guaymallén.*
- [2] Mercante I. T. (2014). *Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos de construcción y demolición.*
- [3] Caterpillar (2009). *Manual de Rendimiento Caterpillar.*
- [4] Cátedra Construcción de Carreteras (2020). *Apuntes de Cátedra.*
- [5] IRAM (1983). *Manual de Normas de aplicación para dibujo técnico.*
- [6] CIRSOC (2005). *CIRSOC 201 Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón Armado.*
- [7] Guevara V. S. I. (2021). *Diseño y prototipaje de adoquín de bajo tráfico vehicular tipo gramadoquín usando plástico de alta densidad reciclado tipo HDPE.*
- [8] IRAM (2019) *Norma Argentina IRAM 11656 Adoquines de hormigón para pavimentos intertrabados.*
- [9] Cátedra Tecnología del Hormigón (2018). *Apuntes de Cátedra.*
- [10] IRAM (2005). *Norma Argentina IRAM 1505 Agregados análisis granulométrico.*
- [11] Dirección Provincial de Vialidad (2013). *Planos Tipo.*
- [12] Franco R. G. (2015). *Manual de costes para una empresa de movimiento de tierras.*
- [13] Ojeda J. P. y Mercante I. T. (2020). *Reciclaje de residuos plásticos para la producción de agregados livianos.*