



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE MAR DEL PLATA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA

Facultad de Ingeniería

Producción de hormigones alternativos mediante la reutilización de desechos urbanos (*)

por Nicolás Germán Pascuzzi

Directora:

Ms. Sc. María Marta Reboredo

Co-director:

Mg. Arq. Fernando Alfonso Cacopardo

(*) Trabajo Final para optar al título de Ingeniero en Materiales

República Argentina

2013



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	4
1.1: Palabras previas.....	5
1.2: Origen del proyecto de trabajo.....	6
1.3: Introducción al problema.....	9
1.3.1: Descripción del problema.....	9
1.3.2: Desechos urbanos. Situación global. Tendencias.....	10
1.3.3: Desechos urbanos. Situación a nivel nacional. Comparación con otros países del mundo.....	11
1.3.4: Desechos urbanos. Últimas medidas destinadas a mejorar la situación a nivel local.....	12
1.3.5: Contexto social. Situación socio-económica particular de la ciudad de Mar del Plata.....	14
1.3.6: Desechos en las zonas marginales.....	14
1.3.7: Ventajas de la reutilización de los residuos urbanos.....	15
1.3.8: Importancia de la recirculación y el trabajo comunitario relacionado con la reutilización de los desechos en personas con escasos recursos.....	16
1.3.9: Hormigón. Utilización de desechos como reemplazo de los agregados inertes en el hormigón tradicional.....	17
1.4: Alcance del trabajo.....	18
1.5: Objetivo general.....	18
1.6: Referencias.....	19
CAPÍTULO 2: MATERIALES.....	20
2.1: Introducción.....	21
2.2: Hormigón.....	22
2.2.1: Necesidad del conocimiento de sus propiedades.....	22
2.2.2: Características y propiedades más importantes tenidas en cuenta.....	22
2.3: Caracterización de los materiales utilizados.....	26
2.3.1: Estimación de tamaños.....	27
2.3.2: Estimación de tamaños para el agregado grueso y sus reemplazos.....	29
2.3.3: Estimación de tamaños para los agregados finos y sus reemplazos. Tamizado.....	31
2.4: Dosificación utilizada.....	36
2.4.1: Concepto de Dosificación. Dosificación de hormigones.....	36
2.4.2: Métodos de dosificación.....	37
2.4.3: Dosificación utilizada. Procedimiento y justificación...	38
2.4.4: Detalle de dosificaciones.....	39
2.5: Referencias.....	40

CAPÍTULO 3: MÉTODOS.....	41
3.1: Introducción.....	42
3.2: Consistencia.....	44
3.2.1 - Consistencia. Elección del método de ensayo de consistencia.....	45
3.2.2 - Ensayo de Asentamiento con Tronco de Cono.....	46
3.2.3 - Ejecución del ensayo.....	46
3.2.4 - Medición del asentamiento.....	47
3.2.5 - Estimación de la trabajabilidad.....	48
3.2.6 - Ámbito de empleo.....	48
3.3: Mediciones de densidad.....	49
3.4: Ensayo de resistencia a la rotura por compresión.....	50
3.4.1 - Dimensiones y forma de las probetas.....	50
3.4.2 - Moldeo de las probetas.....	50
3.4.3 - Curado y encabezado.....	51
3.4.4 - Ejecución de los ensayos.....	53
3.4.5 - Análisis de los datos.....	54
3.5: Ensayo de resistencia a la flexión.....	54
3.5.1 - Dimensiones, forma y obtención de las probetas.....	55
3.5.2 - Ejecución del ensayo.....	55
3.5.3 - Análisis de los datos.....	56
3.6: Referencias.....	57
CAPÍTULO 4: RESULTADOS OBTENIDOS.....	58
4.1: Trabajabilidad y asentamiento.....	59
4.1.1 - Estimación de la trabajabilidad.....	59
4.1.2 - Asentamiento.....	62
4.2: Densidad.....	64
4.3: Resistencia mecánica.....	67
4.3.1 - Resistencia a la flexión.....	67
4.3.2 - Resistencia a la compresión.....	72
4.4: Resistencia específica.....	80
4.5: Análisis económico.....	81
4.6: Referencias.....	85
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	86
CAPÍTULO 6: TRABAJOS FUTUROS.....	90
CAPÍTULO 7: ANEXOS.....	92
7.1: Análisis económico extendido.....	93
7.2: Resultados individuales.....	118

CAPÍTULO 1: **INTRODUCCIÓN**

1.1- Palabras previas

Es totalmente relevante relatar sintéticamente la forma en que surgió la decisión de llevar a cabo este trabajo, ya que la misma tiene una particularidad que debe ser tomada en cuenta durante todo su desarrollo y especialmente en el momento de su conclusión final.

Generalmente un trabajo de investigación se planea desde un principio en cuanto a objetivos concretos y alcances del mismo; y luego, al concluirlo, o bien se ofrecen sus datos y su análisis para que éstos se utilicen en un futuro inmediato para completar la investigación o bien los mismos quedan archivados y se recurre a ellos cuando una situación específica lo requiera. Este no es el caso de este trabajo en particular.

En esta oportunidad se trabajó desde el principio y hasta el final de manera amplia y conjunta con un grupo interdisciplinario de investigación con implicancia social, por lo cual las necesidades que van surgiendo en cada situación van estableciendo nuevos objetivos, modificando las prioridades y añadiendo nuevas problemáticas; de manera que el desarrollo del trabajo en todo momento tiene que ir adecuándose a las necesidades del grupo.

1.2 - Origen del proyecto de trabajo

El trabajo surge en el marco del proyecto de extensión “Construcción, capacitación y producción familiar para el mejoramiento del hábitat con riesgo en grupos sociales vulnerables”, realizado por el “Grupo de Investigación en Urgencias del Hábitat” (G.I.U.H.) perteneciente a la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (U.N.M.d.P.) y dirigido por el Arq. Fernando Cacopardo en los precarios barrios llamados “Alto Camet” y “Monte Terrabusi” de la ciudad de Mar del Plata, Argentina.

Allí, desde un principio, fueron identificados una serie de problemas o necesidades a resolver de forma urgente:

- Carencia de las condiciones mínimas para un hábitat humano en hogares con alto número de niños, lo que conlleva a graves consecuencias como pueden ser enfermedades respiratorias y de piel.
- Falta de estimulación y apoyo institucional para desarrollar el capital humano disponible y necesidad tanto de iniciativas de mejoramiento del hábitat como de microemprendimientos productivos.
- Desintegración social y escaso capital social para la organización familiar y comunitaria para la producción.

Luego de numerosos trabajos productivos del grupo G.I.U.H. en conjunto con la gente de los barrios mencionados, con una serie de objetivos ya cumplidos y con la mera ambición de continuar ayudando a que estas familias carenciadas logren una creciente y continua mejora en su calidad de vida, surge espontáneamente la

idea de llevar el proyecto hacia otras escalas. Es así como el director del grupo mencionado se pone en contacto con la Secretaría de Extensión de la U.N.M.d.P. para informar acerca de las tareas realizadas y de las mejoras conseguidas, y aprovecha la oportunidad para pedir ayuda y avanzar con el proyecto abarcando otros ámbitos. Así se busca la experiencia y el conocimiento de investigadores en otras especialidades, y la creatividad y las ganas de jóvenes estudiantes que deseen trabajar interdisciplinariamente mientras realizan un importante aporte a la comunidad.

La Secretaria de Extensión Universitaria, Lic. Griselda Posetto, se pone en comunicación con su par, la Secretaria de Tecnología, Industria y Extensión de la Facultad de Ingeniería, Dra. Analía Vazquez. Es así como logran establecer contacto con profesores y estudiantes de la Facultad de Ingeniería, mediante el cual se organizan una serie de reuniones entre el mencionado grupo del Arq. Cacopardo e investigadores y alumnos de las facultades de Arquitectura y Diseño e Ingeniería.

Mediante numerosas discusiones que surgen durante estas reuniones grupales de carácter interdisciplinario se plantea, entre otras cosas, la necesidad de *fabricar bloques de construcción* a partir de recursos de valor despreciable o casi nulo mediante técnicas innovadoras para que los mismos puedan ser utilizados como cerramientos externos.

Así se pensó que podrían emplearse materiales disponibles en el lugar como: botellas enteras de gaseosas de polietilentereftalato (PET) cerradas y rellenas con aire, restos de las mismas, polipropileno (PP) obtenido de las etiquetas, fragmentos de poliestireno (PS) expandido (telgopor) y aserrín fino.

Paralelamente a esto, el Dr. Enrique Locati, quien ya trabajaba con un grupo de personas del "Subcentro de Salud Barrio Libertad" en la elaboración de bloques de hormigón con alta proporción de Telgopor incorporado, se puso en contacto con el INTEMA con el objetivo de evaluar los mismos y saber si estaban en condiciones de ser utilizados. Así se trabajó con ambos grupos para dar un apoyo en el soporte técnico en la elaboración de estos elementos y se trabajó simultáneamente en la evaluación de las propiedades del material

Asimismo, con poco o casi nada de recursos y contando únicamente con restos de desechos disponibles en los barrios y en sus alrededores, se lograría mejorar en un nivel más que importante la estructura de estas viviendas totalmente precarias y peligrosas, mientras que paralelamente se establecería un importante impacto social en los integrantes de las familias involucradas demostrando el valor del trabajo grupal y comunitario. Y adicionalmente en el resto de la comunidad se lograría inculcar una concientización ambiental basada en la importancia de la reutilización de los desechos.

De esta manera, teniendo en cuenta la escasez de recursos y con una base importante de conocimientos acerca de las propiedades de los materiales en general, se toma la decisión grupal de incorporar este tipo de desechos como reemplazo de los agregados inertes en el hormigón tradicional con el propósito de mejorar la economía de la mezcla y su densidad.

Por esta razón es fundamental la ayuda de personas (alumnos e investigadores) que tengan conocimientos sobre el comportamiento de los materiales y estén dispuestas a realizar un trabajo de investigación para evaluar la producción de hormigones alternativos mediante la reutilización de desechos urbanos.

1.3- Introducción al problema

La necesidad de realizar este trabajo se justifica teniendo en cuenta la situación social actual en estado de emergencia de los barrios periféricos de la ciudad de Mar del Plata y las condiciones de contaminación medioambiental a nivel local que provoca un destino errado de los desechos urbanos. Si bien de ambos escenarios se tienen datos estadísticos concretos, al ser problemas de índole socio-ecológicos son tan urgentes como difíciles de cuantificar.

1.3.1 - Descripción del problema

Una de las necesidades tecnológicas más grandes de la humanidad en estos tiempos es la reducción y la reutilización de la enorme cantidad de residuos que resultan de la forma de vida de la sociedad moderna. Dentro de este concepto se encuentra la utilización de los residuos para un reciclaje adecuado y reutilización, a efectos de producir ahorros tanto en el consumo de energía como de materias primas.

Sumado a esto, se trabaja en el desarrollo y sustento del hábitat en situación de riesgo crítico en barrios periféricos de bajos recursos.

En línea con la sociología actual, teniendo en cuenta el concepto de *desarrollo sostenible*, se busca *reciclar* a los materiales reincorporándolos al ciclo de producción y al mismo tiempo *reincluir* a la sociedad a todas aquellas personas expulsadas de la misma.

1.3.2 - Desechos urbanos. Situación global. Tendencias.

El aumento del consumo y el explosivo crecimiento demográfico de los grandes centros urbanos plantean el desafío cada vez más urgente de resolver el destino de los residuos sin comprometer el medio ambiente.

La mayor parte de la basura que produce el planeta (estimada en más de dos billones de toneladas anuales) se entierra o se quema. Y en tiempos de consumismo acelerado, combinado con una mayor conciencia ambiental de funcionarios, organismos y grupos ecologistas internacionales, urge repensar el destino de los desechos del mundo.

Los pronósticos para las próximas décadas son tan desalentadores que muchos países comenzaron a reformular estrategias, apuntando a la minimización de residuos en origen, la reutilización y el reciclaje.

De acuerdo con estimaciones de las Naciones Unidas, para el año 2025 los países desarrollados quintuplicarán los niveles de generación de desechos. En el mundo en vías de desarrollo el panorama no es mejor: para las próximas décadas se espera una explosión demográfica en las principales ciudades (Mumbai, Lagos, San Pablo y Buenos Aires son algunas de ellas) que podría triplicar la cantidad actual de población sin demasiado ordenamiento, lo que tendría un preocupante efecto en materia habitacional, sanitaria, laboral y también, obviamente, en la producción de basura.

1.3.3 - Desechos urbanos. Situación a nivel nacional. Comparación con otros países del mundo.

Aquí y ahora, en nuestro país, la gestión de los residuos sólidos urbanos muestra luces y sombras, según desde donde se la mire. En el área metropolitana se ven gestos de acercamiento entre la Ciudad y el Conurbano para abrir nuevos rellenos sanitarios que darían un respiro al sistema, aunque sin aportar soluciones de fondo. Pero en el interior los basurales a cielo abierto parecen ser, hasta ahora, el único destino posible para más de la mitad de los residuos que se generan y se amontonan sin ningún tipo de tratamiento, lo que los vuelve altamente nocivos para sus vecinos más cercanos y todavía más para quienes viven de su recolección.

En el hemisferio norte, la incineración de los residuos (aunque combinada con otros métodos) es una práctica más que extendida, sobre todo entre los países europeos, donde el déficit de grandes extensiones de tierra para construir rellenos sanitarios es claro. La incineración permite reducir en un noventa por ciento la cantidad de basura. El diez por ciento restante, transformado en ceniza, acaba enterrado en un relleno sanitario que, de esta manera, alarga notablemente su vida útil.

Claro que la solución no es apta para cualquiera. Se calcula que la sola instalación de una planta incineradora cuesta entre 50 y 60 millones de dólares. Y cada tonelada de basura incinerada, entre 70 y 150 euros. Por otra parte, es un método de tratamiento que no goza de buena prensa: su eficacia en términos ambientales es relativizada no sólo por organizaciones ecologistas, sino también por expertos en la materia.

El arquitecto y consultor ambiental Carlos Libedinsky recuerda esa nube negra que solía cubrir la ciudad de Buenos Aires en los tiempos de la incineración domiciliaria. "La incineración es más cara, en general es contaminante y si no lo es, se debe a procedimientos muy onerosos de depuración de humos", asegura este profesor de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UBA.

La cuestión de los costos tal vez explique en parte por qué este método no es frecuente en los países en vías de desarrollo. Entre ellos tampoco suele haber un solo tipo de procedimiento, aunque la alternativa en estos casos es menos feliz y suele variar entre rellenos sanitarios, vertederos municipales y basurales a cielo abierto (entre estos dos últimos no hay mucha diferencia, excepto porque en el primer caso funcionan gracias al consentimiento municipal).

"Entre los países del Tercer Mundo el esquema suele ser similar al nuestro, con rellenos sanitarios en las grandes ciudades y basurales sin ningún tipo de tratamiento en el interior", explica Atilio Savino, ex secretario de Medio Ambiente de la Nación (2003 - 2006) y ex vicepresidente de la International Solid Waste Association (ISWA), único organismo internacional dedicado al estudio de los residuos sólidos.

1.3.4 - Desechos urbanos. Últimas medidas destinadas a mejorar la situación a nivel local.

En el mes de Mayo del año 2012 fueron implementadas acciones y medidas muy importantes destinadas a mejorar la problemática de la acumulación de desechos sin tratamiento en las afueras de la ciudad.

Por una parte, y luego de más de una década de espera por tareas suspendidas de manera reiterada, fue inaugurado el nuevo Centro de Disposición Final para los residuos de la ciudad de Mar del Plata, una obra que demandó una inversión total de 79,6 millones de pesos y que se espera que cumpla con las normas técnicas exigidas en materia ambiental: que esté preparado para evitar la contaminación de las aguas mediante sistemas de impermeabilización, canalización y tratamiento de los líquidos lixiviados, la contaminación del aire mediante sistemas de captación e incineración de gases generados por la descomposición de la materia orgánica de los residuos y la contaminación de la tierra mediante un sistema de operación que evite que se dañen, arruinen y desvaloricen los terrenos aledaños. Se estima que este centro pueda tratar alrededor de 1000 toneladas en la temporada alta veraniega y 600 toneladas diarias de residuos durante el resto del año.

Por otra parte, ese mismo mes también fue iniciada la tarea de separación en origen de residuos sólidos urbanos para todo el ámbito del partido de Gral. Pueyrredon. Se trata de un trabajo colectivo que requiere del esfuerzo de todos los ciudadanos y que, de prosperar, traerá un beneficio gigantesco en términos medioambientales, económicos y de calidad de vida.

Los resultados de ambas medidas, sin duda, se verán a mediano y largo plazo. Pero vale destacar que la implementación de las mismas demuestra el interés y la necesidad de trabajar en torno al tema y la posibilidad de atacar esta problemática desde diferentes ámbitos.

1.3.5 - Contexto social. Situación socio-económica particular de la ciudad de Mar del Plata.

La tasa de desocupación y subocupación en Mar del Plata alcanzaba al 29,3 % de la población económicamente activa para el último trimestre de 2004, las más alta luego del conurbano, que alcanzó un 31,8 %. Esa misma fuente [1] estableció que el 29,6 % de la población de Mar del Plata era pobre. En ese sentido, los Barrios Alto Camet y Monte Terrabusi, están situados entre los sectores que tiene el menor índice de calidad de vida de la ciudad de Mar del Plata, según una evaluación previa realizada sobre la base de datos del censo 2001 [2]. Según datos de trabajos precedentes, un 47 % de las viviendas, aproximadamente 76 casos, se encontraban dentro de los niveles de escala riesgo-riesgo crítico (entre los índices 19 y 46), de los cuales 25 casos se encontraban en el sector de mayor pendiente de la curva, riesgo crítico, el 15,5 % del total [3].

1.3.6 - Desechos en las zonas marginales

Sin embargo, en las zonas marginales de las ciudades, donde se ha dado la inmigración del campo e invasión de los terrenos baldíos, es difícil brindar un servicio de recolección de basuras. El acceso por camino es difícil para los vehículos recolectores de basura, y es posible que los residentes no sepan como cooperar con el sistema de recolección. Es más, donde los residentes son invasores que no pagan impuestos al predio, puede haber menos compromiso político para brindar dicho servicio.

Debido a estas condiciones comunes en las zonas marginales, es normal ver la eliminación clandestina de desechos en su periferia, así como en lotes baldíos entre las casas. Al acumularse los montones de basura, es común que los residentes los quemen de noche. Se debe buscar una comprensión de las prácticas actuales de la comunidad, y realizar intentos a nivel de base para educar a los residentes en la necesidad de eliminar apropiadamente la basura, ayudándoles en lo posible a establecer sistemas de manejo de basura relativamente autosuficientes.

1.3.7 - Ventajas de la reutilización de los residuos urbanos

Los objetivos globales de los proyectos de recolección, reutilización y eliminación de los residuos urbanos son:

- Proporcionar a la comunidad, un ambiente sano, libre de gérmenes, desechos y vectores, un escenario paisajístico agradable y habitacional.
- Proporcionar una recolección apropiada y eficiente de los desechos sólidos en el medio urbano.
- Brindar un transporte efectivo y económico de los mismos hasta las instalaciones de descarga.
- Proporcionar una eliminación ecológicamente segura, técnicamente práctica y de bajo costo.
- Fortalecer las instituciones en su aspecto técnico y financiero, a fin de asegurar su operación y mantenimiento costo-efectivo de los sistemas de desechos sólidos a largo plazo.

1.3.8 - Importancia de la recirculación y el trabajo comunitario relacionado con la reutilización de los desechos en personas con escasos recursos

Para un número significativo de personas de bajos recursos que viven en ciudades de países en desarrollo, la recuperación de materiales secundarios es su principal fuente de ingresos.

Esto se da primordialmente como sigue:

- Trabajadores del sector informal van de puerta en puerta comprando ropa usada, papel, botellas, etc.
- Trabajadores de recolección de basuras rebuscan entre los desechos recibidos en su ruta.
- Colectores (basureros) rebuscan entre los desechos llevados a los sitios de descarga en tierra.

Así, toda esta gente ocupada en la recuperación de materiales vende sus materiales reciclables a agentes industriales. Estos agentes los seleccionan, procesan y almacenan según las especificaciones de compra de las industrias. A partir de ahí se sigue un proceso verticalizado en el que los más beneficiados económicamente son las grandes empresas procesadoras de residuos. De esta manera, cualquier cambio en el sistema de recolección o eliminación de la basura podría obstaculizar la recuperación de materias secundarias, y tendría un grave impacto tanto en el uso de materiales y energía por parte de las industrias locales como en la economía local de las personas de escasos recursos. Debido a esto es importante que se logren políticas a largo plazo que involucren conjuntamente trabajos comunitarios y reutilización de residuos urbanos.

1.3.9 - Hormigón. Utilización de desechos como reemplazo de los agregados inertes en el hormigón tradicional.

Ante la situación mencionada de escasez de recursos, contando con la disponibilidad inmediata de estos desechos urbanos y ante la necesidad de fabricar bloques de construcción económicos, livianos y aislantes para ser utilizados como cerramientos externos, resulta adecuado incorporar los desechos como reemplazo parcial de agregados inertes durante el proceso de fabricación del hormigón tradicional. Con una base importante de conocimientos acerca de las propiedades de los materiales en general y de los procesos de fabricación de los bloques, se toma esta decisión teniendo en cuenta diferentes factores, principalmente la necesidad de disminuir el factor costo/peso de los mismos. Así, con estos materiales y mediante el proceso de fabricación sugerido, se espera una ganancia en economía debido al menor consumo de agregados por unidad de volumen de pasta y una baja en la densidad debido al ahorro en peso por el uso de los desechos. Sin embargo, debido al cambio en la adherencia de la mezcla y los cambios volumétricos ante las variaciones de humedad y temperatura vinculadas con el proceso de endurecimiento se espera también una pérdida en las propiedades mecánicas

1.4 - Alcance del trabajo

Es importante aclarar cuál es el grado de profundización que alcanza este trabajo. No se pretende realizar un análisis científico profundo de los mecanismos de falla de hormigón que utiliza desechos urbanos como reemplazos. Tampoco se busca descubrir una dosificación a utilizar para preparar hormigón con reemplazos de elevada resistencia mecánica.

Este trabajo está acotado a analizar la producción de bloques de construcción para la construcción de viviendas económicas con los medios escasos disponibles (equipamientos, personal, capacitación del mismo, etc.) de manera lo más simple posible y a cuantificar la ganancia y/o pérdida frente a otros materiales como el hormigón normal, en las propiedades más relevantes que deben ser tenidas en cuenta para su utilización, como la densidad, la resistencia a la compresión y el costo de los mismos.

1.5 - Objetivo general

El objetivo general de este trabajo consiste en analizar la incorporación de desechos urbanos al hormigón a fin de obtener materiales alternativos para la construcción de viviendas económicas y evaluar este tipo de hormigón mediante la determinación de sus características físico-químicas y sus propiedades mecánicas.

1.6 - Referencias:

- [1] Encuesta Permanente de Hogares Continua. (Subsecretaría de Coordinación Económica, Ministerio de Economía, Provincia de Buenos Aires: 2004)
- [2] Dinámica demográfica y configuración territorial de Mar del Plata y el Partido de General Pueyrredon en la segunda mitad del siglo XX. (Patricia Iris Lucero: 2001)
- [3] Mapa de Riesgo Habitacional de Alto Camet. (Cacopardo, F, Lucero, P, Mogenesen, C y Aguirre,L: 2005).

CAPÍTULO 2: **MATERIALES**

2.1 – Introducción

El hormigón es, por definición, una mezcla homogénea compuesta por cemento portland y agua que mantiene adherida a los agregados (finos y gruesos). Por lo tanto podría suponerse que, para la preparación de hormigón tradicional, no habría muchas posibilidades de variación en el momento de la elección de los materiales a utilizar. Sin embargo, esto no es completamente cierto. En el mercado actual hay una oferta muy variada de esta gama de materiales que se utilizan para su preparación cuya elección depende, entre otros factores, de la disponibilidad local y del uso que se le da al hormigón resultante. Un ejemplo típico de esto es la elección de utilizar piedra partida por sobre canto rodado como agregado grueso, materiales de características muy diferentes.

En este trabajo, para la preparación del hormigón utilizado se recurrió a materiales de uso frecuente en obras de distinto tipo, de fácil disponibilidad en el mercado local, y que cumplen las normas especificadas para su uso [1]. La posibilidad de incorporar diferentes aditivos como pueden ser: reductores de contenido de agua, aceleradores de endurecimiento o incorporadores de aire tuvo que descartarse para permitir una dosificación simplificada en la etapa del procesamiento y un material final de bajo costo.

2.2 - Hormigón.

2.2.1 - Necesidad del conocimiento de sus propiedades

A pesar de que no es uno de los objetivos de este trabajo explicar detalladamente las propiedades específicas del hormigón resulta sin embargo indispensable, para su justificación, indicar y comentar brevemente ciertas propiedades y características de gran importancia de este material, que fueron las que principalmente se analizaron y tuvieron en cuenta tanto para la evaluación de los bloques como para sus correspondientes recomendaciones finales. De esta manera, con un conocimiento previo de las mismas y un correcto análisis, se puede justificar el trabajo realizado y sus conclusiones.

2.2.2 - Características y propiedades más importantes tenidas en cuenta

El hormigón es el material ingenieril más utilizado para construcciones estructurales como puentes, edificios, represas, pistas de aeropuertos, diques y rutas. Esto se debe a que posee importantes propiedades como su gran durabilidad, alta resistencia a la compresión, bajo precio y facilidad para su aplicación. Como desventaja podría decirse que tiene una baja resistencia a la tracción y considerable contracción en el curado.

El hormigón varía considerablemente su composición. Los hormigones convencionales tienen composiciones que se aproximan a las de la Figura 2.1.

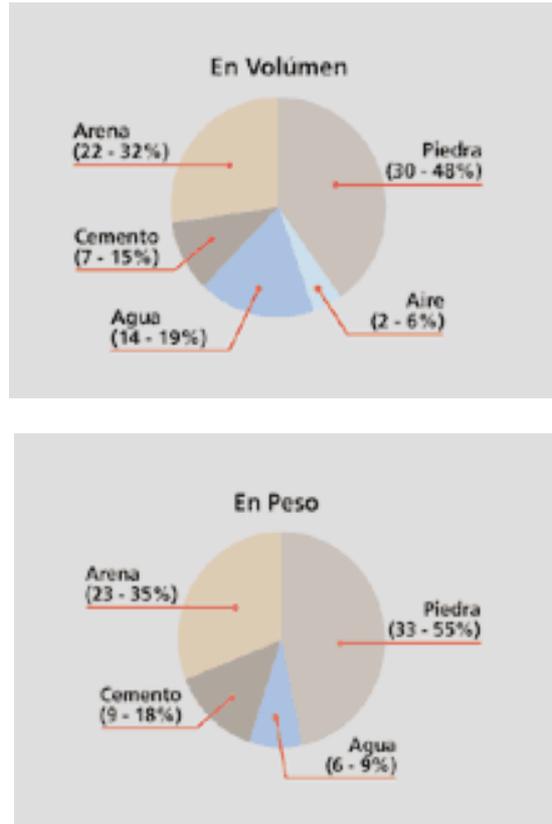


Figura 2.1- Composición porcentual en volumen y en peso del hormigón

La composición de las mezclas de hormigón se determina teniendo en cuenta las propiedades que se buscan. Dentro de éste conjunto de propiedades se encuentran:

- La trabajabilidad requerida.
- La resistencia mecánica necesaria.
- La durabilidad del hormigón puesto en servicio.
- El costo.

La resistencia a la compresión del hormigón varía según la siguiente ecuación empírica:

$$\sigma_c = A / B^x$$

Donde:

σ_c es la resistencia a la compresión.

x es la relación de volumen de agua y cemento A/C.

A y B son constantes que dependen del tipo de cemento, los aditivos que contenga, la edad del hormigón y otros factores.

De la ecuación puede deducirse que al aumentar la proporción de agua/cemento (mayor x), para probetas de igual edad, la resistencia disminuye; con lo cual se remarca la importancia de la cantidad de agua en la mezcla. Se pueden encontrar relaciones agua/cemento recomendadas para cada hormigón según el uso que se le vaya a dar. En la figura 2.2 se muestra un esquema de una curva resistencia en compresión vs. relación agua/cemento.

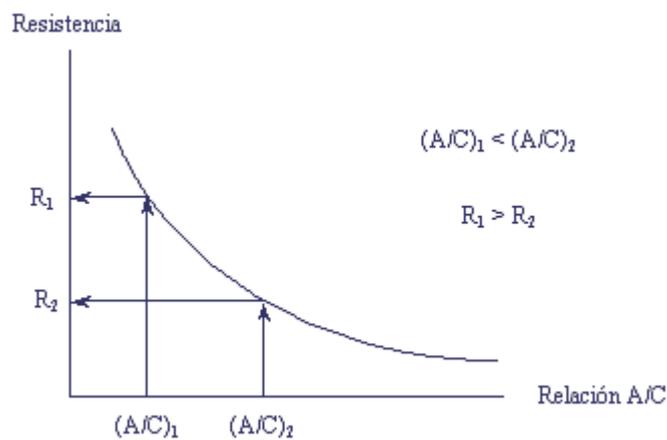


Figura 2.2 - Resistencia vs. relación agua/cemento.

Por otro lado, la resistencia del hormigón varía con el tiempo. Por lo tanto, para facilitar la comparación, es conveniente que las probetas sean ensayadas a los 28

días. La figura 2.3 muestra la relación estimada entre la resistencia a la compresión de un hormigón en función del tiempo. [2]

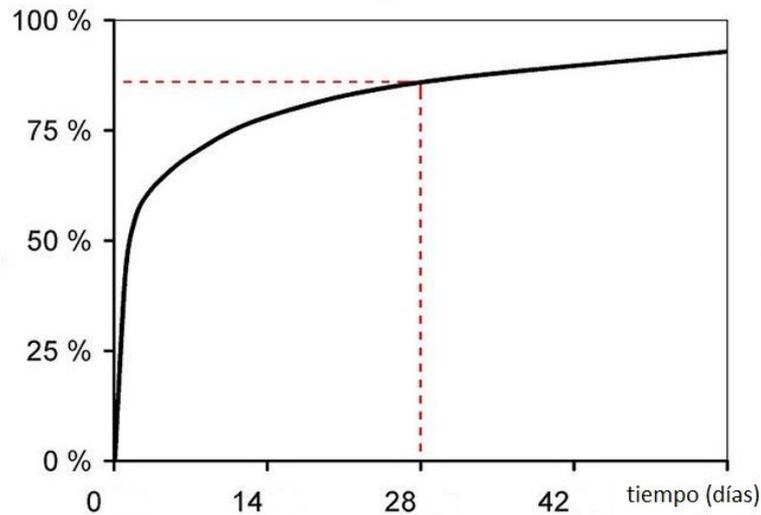


Figura 2.3 – Resistencia a la compresión vs. tiempo.

La relación agua/cemento, la cantidad de agregados (finos y gruesos) y la granulometría de los mismos son determinantes de las propiedades mecánicas del hormigón. Existen diferentes dosificaciones según el uso que se le vaya a dar al material.

Un parámetro a medir es la trabajabilidad, que se define como la menor o mayor facilidad con que el hormigón se coloca en el molde y lo llena para tomar su forma. La fluidez de la mezcla debe ser tal que permita el desplazamiento y la ordenación de las partículas gruesas para obtener una buena compactación. La trabajabilidad se mide por medio de un ensayo de asentamiento.

2.3 - Caracterización de los materiales utilizados

Los materiales utilizados fueron:

- Cemento tipo Portland Normal (CPN), como ligante. Marca: Loma Negra.
- Arena, como agregado fino.
- Piedra partida cuarcítica, como agregado grueso.
- PET (polietilentereftalato) en escamas, como reemplazo parcial de agregado grueso. Origen: desechos de envases de gaseosa. Proveídos en forma de escamas por la empresa Reciclar S.A. [3].
- PP (polipropileno) cortado, como reemplazo parcial de agregado grueso.
Origen: desechos de etiquetas de envases de gaseosa. Proveídos ya cortados por la empresa Reciclar S.A. [3].
- PS (poliestireno) expandido fragmentado (Telgopor), como reemplazo parcial de agregado grueso. Fragmentado parcialmente por la gente del barrio Libertad mediante una herramienta tipo parrilla. Fragmentado totalmente por el proveedor, la empresa Aislantes Laporte [4].
- Aserrín fino (desecho de aserradero de la zona) como reemplazo parcial de agregado fino.
- Agua potable.

2.3.1 - Estimación de tamaños

El tamaño de partícula de los agregados (tanto finos como gruesos) es una propiedad física fundamental que debe ser controlada y monitoreada desde un principio ya que tiene gran incidencia en otras propiedades, tanto de la mezcla fresca como del hormigón endurecido. Como ejemplo de esto se puede asegurar que una arena de granulometría más fina aumenta la trabajabilidad de la mezcla fresca mientras que disminuye la resistencia del hormigón endurecido. Teniendo en cuenta esto se procedió a evaluar la distribución de tamaños de la totalidad de los agregados utilizados. Las longitudes promedio y las distribuciones de tamaños estimadas se tuvieron en cuenta para la elección del tipo de agregado al que se reemplaza y para la dosificación final.

Existen en la actualidad una gran cantidad de técnicas de análisis para evaluar tamaños de partículas, como por ejemplo: sedimentación, tamizado, microscopía, análisis de fotografías digitales, scattering, ondas acústicas, etc. Para la decisión de utilizar uno u otro método deben tenerse en cuenta varios factores como: tamaño medio a medir, distribución de tamaños, naturaleza de la muestra, morfología de las partículas, disponibilidad de equipos, precisión requerida, etc.

Las técnicas apropiadas fueron elegidas teniendo en cuenta principalmente el intervalo de tamaños a analizar y la precisión necesaria. Así se tomó la decisión de evaluar los tamaños de los agregados gruesos y sus reemplazos mediante análisis de fotografías digitales, y de los agregados finos y sus reemplazos mediante tamizado.

Una comparación estimada de los agregados (tanto finos como gruesos) y sus reemplazos puede observarse en la figura 2.4. También a modo de comparación estimativa se muestra el PS expandido fragmentado parcialmente (figura 2.5) y totalmente (figura 2.6).

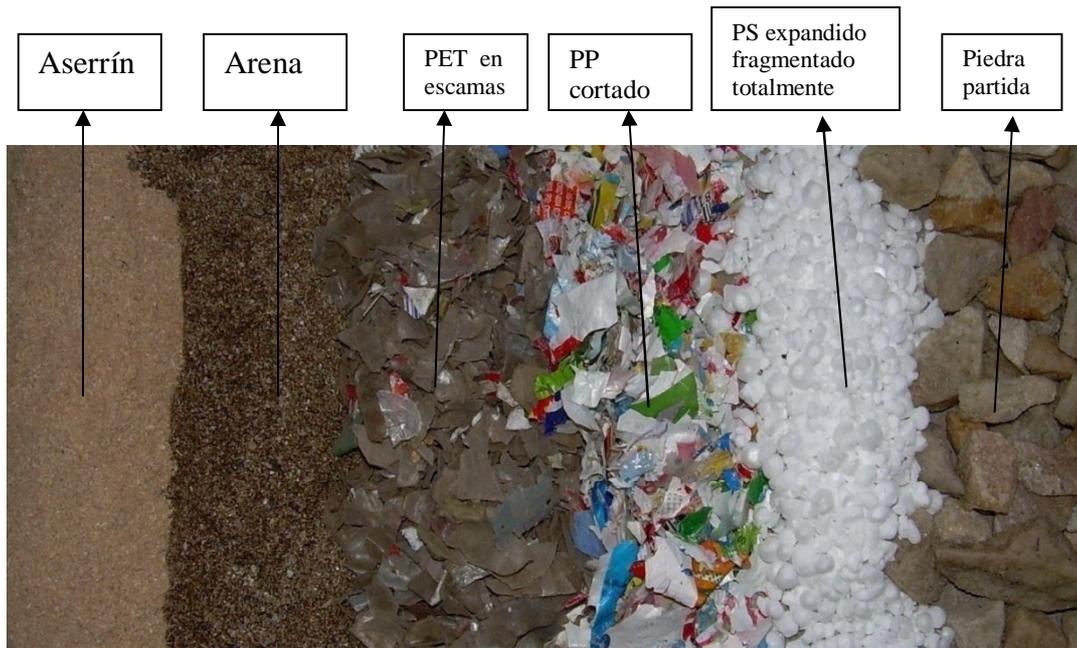


Figura 2.4 – Comparación de tamaños



Figura 2.5 – Fragmentado parcial



Figura 2.6 – Fragmentado total

2.3.2 - Estimación de tamaños para el agregado grueso y sus reemplazos

Los tamaños de los desechos y de la piedra partida se estimaron a partir de fotografías tomadas con una cámara digital de alta resolución (Nikon COOLPIX L14), las cuales se observaron utilizando un software de análisis de medición (Image-Pro Plus Versión 4.5.0.29) que permite obtener las longitudes promedios con una alta precisión a partir de realizar al menos veinte mediciones para cada material. Además, para tener una idea de la variación de los tamaños fueron calculadas las desviaciones estándar de las longitudes promedio mediante el uso del software Microsoft Excel 97. En la figura 2.7 puede observarse este método de medición.

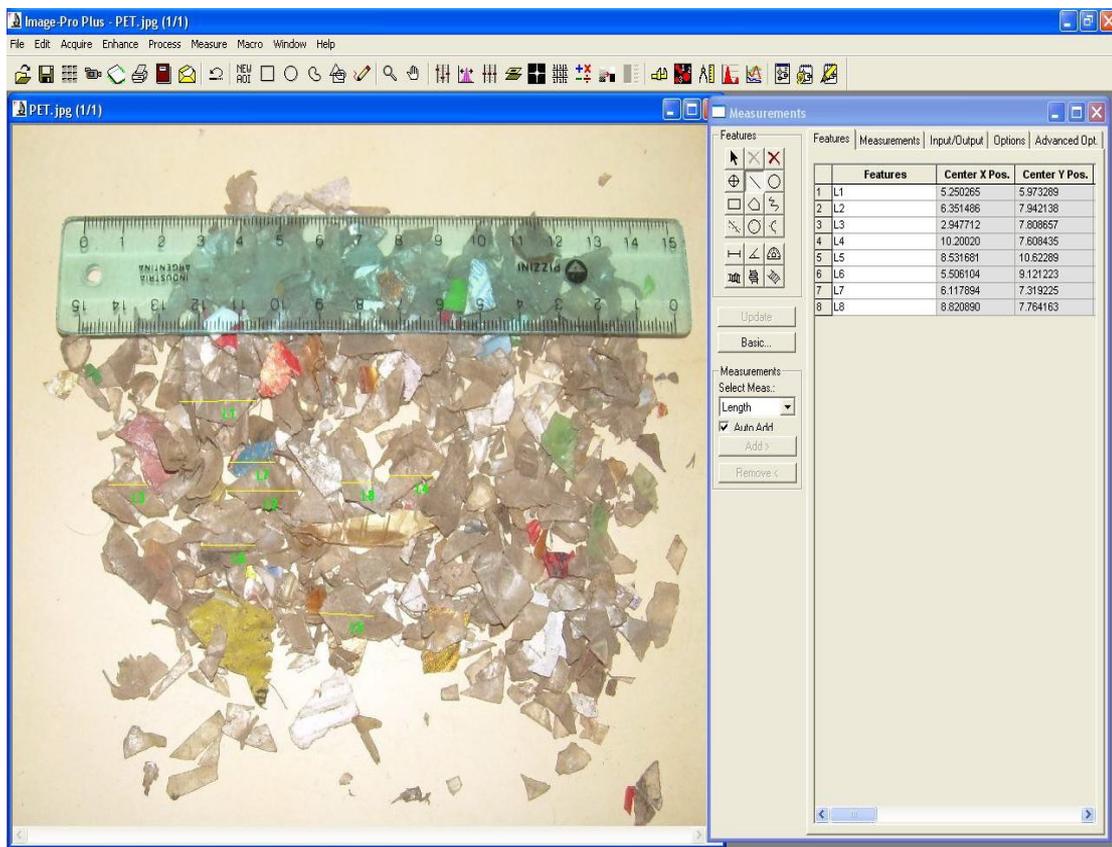


Figura 2.7 – Utilización del software de análisis de imágenes

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.1.

Material	Longitud promedio (cm)
Piedra partida	$1,6 \pm 0,7$
PET en escamas	$1,2 \pm 0,5$
PP cortado	$1,1 \pm 0,4$
PS expandido fragmentado totalmente	$0,5 \pm 0,2$
PS expandido fragmentado parcialmente	$1,4 \pm 0,6$

Tabla 2.1 – Tamaño de los desechos

2.3.3 - Estimación de tamaños para los agregados finos y sus reemplazos.

Tamizado.

La distribución granulométrica del aserrín fino y de la arena se obtuvo por tamizado, una técnica sencilla que se aplica a partículas de tamaño comprendidos entre 37 y 76000 μm .

Los tamices empleados se fabrican de tela metálica o polimérica, cuyas aberturas están cuidadosamente normalizadas. El área de las aberturas en cualquier tamiz de la serie es el doble de la del tamiz inmediato inferior. Los tamices se identifican con un número que en caso de la serie ASTM corresponde al número de aberturas por pulgada lineal. La operación de tamizado se realiza formando una pila de tamices con el de la abertura más pequeña en el fondo y el de mayor abertura en la parte superior. En la figura 2.8 puede observarse un ejemplo de una serie normalizada de tamices.

La masa inicial de las muestras depende de la densidad de cada material estudiado y debe ser la adecuada teniendo en cuenta el volumen de cada muestra y el diámetro de los tamices. Este valor no incide en los cálculos finales de distribución granulométrica y módulo de finura, ya que en ambos casos se tienen en cuenta porcentajes de la masa total final.

La muestra se coloca por sobre la serie y se agita mecánicamente la pila durante un tiempo determinado. Las partículas que pasan por el tamiz más fino se recogen en un colector colocado en el fondo de la pila. Se pesan las partículas retenidas en cada tamiz, convirtiendo las masas en fracciones o porcentajes en masa de la muestra total. Los resultados de este análisis se tabulan para indicar la fracción de masa sobre cada tamiz en función del tamaño de malla de cada tamiz. A partir de

este método puede obtenerse un análisis acumulativo sumando los incrementos individuales, comenzando por el retenido en el tamiz superior y tabulando o graficando las sumas acumuladas en función de la dimensión de malla del tamiz que retiene la última fracción acumulada.



Figura 2.8 - Serie normalizada de tamices.

Características generales del tamizado realizado:

- Se utilizó una serie ASTM normalizada desde el tamiz N°3 (6,35 mm) hasta el N°400 (0,037 mm).
- Tiempo total de agitación para cada tamizado: 30 min.
- Masa inicial de las muestras de aserrín: 100 g.
- Masa inicial de las muestras de arena: 500 g.
- Tamices tenidos en cuenta para el cálculo del módulo de finura: N °4 (4,76 mm), N °8 (2,38 mm), N °16 (1,19 mm), N °30 (0,79 mm), N °50 (0,30 mm) y N °100 (0,15 mm).

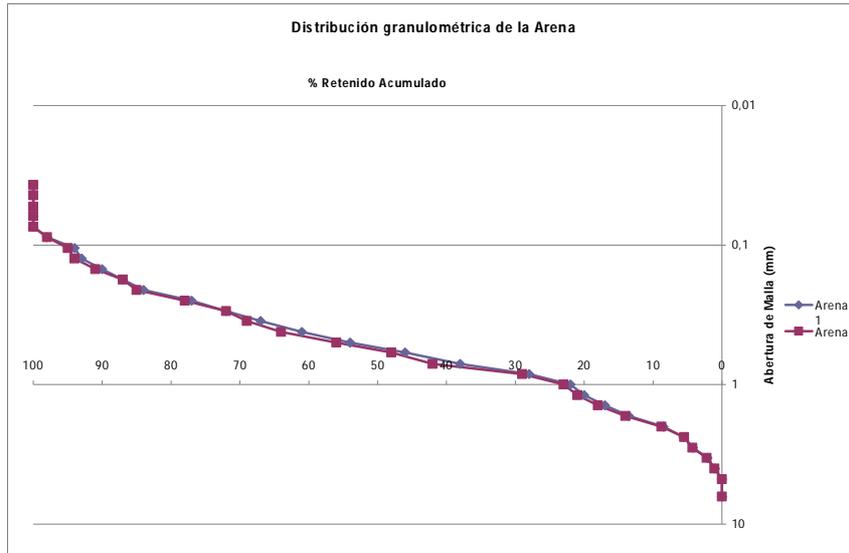


Figura 2.10 - Distribución granulométrica acumulada de la arena.

Las curvas independientes obtenidas para la arena coinciden en gran medida entre sí, se corresponden con valores tabulados para este material (Figura 2.11) y se encuentran dentro de los límites de tolerancia establecidos por las normas correspondientes [1] para ser utilizado como agregado fino en hormigón.

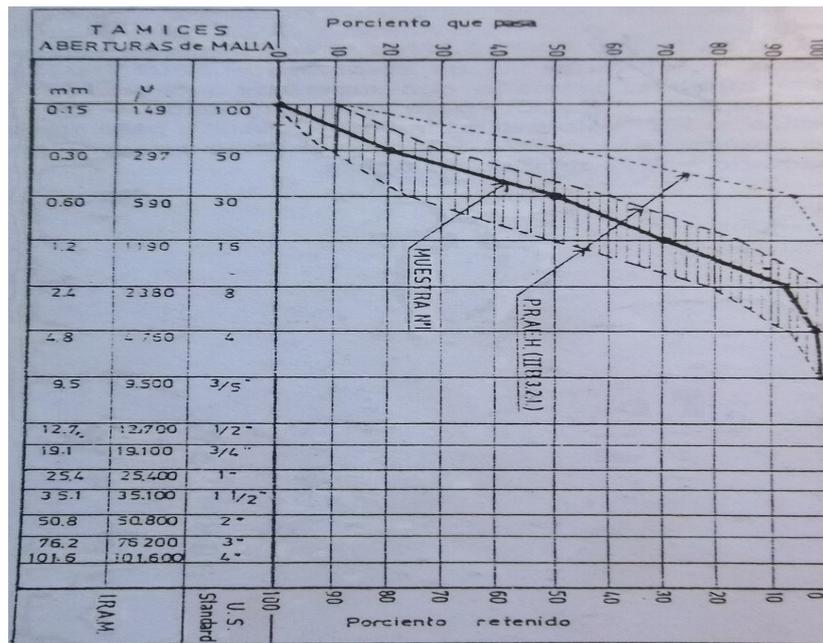


Figura 2.11 – Ejemplo de curva granulométrica de arena tabulado

La Tabla 2.2 muestra los diámetros de partícula (D) obtenidos por tamizado para porcentajes retenidos de 10 %, 50 % y 90 %, en peso. Para esta estimación se tuvo en cuenta un valor promedio entre las dos mediciones realizadas. Se puede verificar que el aserrín presenta, en este caso, un tamaño de partícula más pequeño y una distribución más angosta.

Material	D10 (mm)	D50 (mm)	D90 (mm)
aserrín	> 0,62	> 0,24	> 0,09
arena	> 1,80	> 0,54	> 0,15

Tabla 2.2 – Parámetros característicos de la distribución granulométrica acumulada del aserrín y la arena

Módulo de finura:

El módulo de finura es un número abstracto que permite identificar la granulometría de un agregado mediante la suma de los retenidos acumulados en ciertos tamices de la serie normalizada y dividiendo esa suma por cien. Arenas con módulo de finura entre 2 y 3.3 son las más aconsejadas para el uso en hormigón.

Módulos de finura obtenidos para la arena: 2,34 y 2,38

Módulos de finura obtenidos para el aserrín: 1,12 y 1,15

2.4 - Dosificación utilizada

2.4.1 - Concepto de Dosificación. Dosificación de hormigones.

En las más diversas actividades humanas se plantea el problema de lograr materiales compuestos (en base a otros que contribuyen con sus propiedades individuales y de acuerdo a las cantidades relativas en que se los emplee) con determinadas características deseadas.

En el caso del hormigón se dispone, como ya se ha indicado, de tres componentes principales: el agua, el ligante y los agregados. Al mezclar dichos componentes entre sí en una gama prácticamente infinita de combinaciones de cantidades relativas, se obtienen hormigones de muy distintas propiedades, tanto en su estado fresco como endurecido.

La experiencia disponible, en lo referente a la influencia que sobre las propiedades de las mezclas, tienen las proporciones en que intervengan las componentes (de los cuales se conocen ciertas constantes físicas, químicas y/o mecánicas) ha permitido establecer reglas propuestas para determinar las cantidades en que debe intervenir cada material para lograr que el hormigón resultante tenga las propiedades necesarias. En definitiva, dosificar es en cierta forma pronosticar, es decir presuponer que mezclando ciertos materiales de características más o menos conocidas, en determinadas proporciones (dosis) permite que la mezcla se comporte, tanto en el estado fresco como en el endurecido, dentro de un cierto margen de error (que puede o no ser tolerable), de acuerdo con las condiciones prefijadas.

2.4.2 - Métodos de dosificación

En la actualidad se recurre a diferentes métodos de dosificación. El uso de uno u otro método depende principalmente de la aplicación que se le quiera dar al hormigón a fabricar y de la información detallada que se posea acerca de sus componentes. Los métodos utilizados pueden separarse en tres grandes grupos: empírico, semiempírico y racional.

En el primer grupo se ubican los procedimientos en que los materiales componentes se proporcionan por unidades de volumen o de peso, sin estudiar o tener en cuenta el detalle de las características de los materiales componentes.

En el segundo grupo se ubican las dosificaciones en que se fija la relación agua/cemento en peso, mientras que los agregados se proporcionan mediante tanteos sucesivos utilizando pastones de prueba, variando las cantidades de aquellos para una cantidad fija de pasta cementicia, hasta conseguir la trabajabilidad y la consistencia adecuada.

En el tercer grupo se ubican las dosificaciones racionales, en las que además de fijar la relación agua/cemento en peso, se determinan los contenidos óptimos de cada uno de los componentes en base al estudio de las características físicas de los agregados.

2.4.3 - Dosificación utilizada. Procedimiento y justificación.

La dosificación utilizada fue empírica, de manera que casi no se tuvo en cuenta las características de los agregados (salvo estimaciones visuales de tamaño máximo de agregado grueso, reemplazos y granulometría de arena y aserrín).

Esta dosificación se seleccionó con el fin de elaborar las probetas a ensayar simulando el procedimiento utilizado en las condiciones habituales de procesamiento de los bloques que se fabrican. Si bien este método puede que sea susceptible de importantes variaciones en la calidad, no podría utilizarse otro de mayor exactitud ya que no se dispone actualmente, en los lugares de producción de los bloques, de equipamiento y personal capacitado en obra para realizar mediciones en peso y un seguimiento de las características físicas y mecánicas de los agregados.

Debido a esto, se prepararon probetas de hormigón normal (sin reemplazo de agregados) y de hormigón con desechos urbanos por reemplazo parcial de agregados finos y gruesos utilizando una dosificación de tipo empírica en volumen.

Aclaración: en el caso especial de la preparación de hormigón con alta proporción de PS expandido fragmentado parcialmente (PS2), se decidió respetar la misma dosificación e intentar imitar los métodos utilizados previamente por la gente del Barrio Libertad para preparar sus bloques de construcción a fin de que el hormigón reproducido represente lo más fielmente posible aquel utilizado en dichos bloques y así evaluar sus propiedades. En este caso, la decisión de utilizar cal hidráulica y mayor contenido de agua fue de la gente del mencionado barrio con el objetivo de darle mayor plasticidad a la mezcla.

2.4.4 - Detalle de dosificaciones

A continuación se especifica la dosificación utilizada (C:CA:AF:AG:R:A):

- Hormigón normal (N) - (1:0:3:3:0:0,7)
- Hormigón con baja proporción de PS expandido fragmentado totalmente (PS) - (1:0:3:1:2:0,7)
- Hormigón con alta proporción de PS expandido fragmentado parcialmente (PS2) - (1:1:4:0:8:1,5)
- Hormigón con restos de PET en escamas (PET) - (1:0:3:1:2:0,7)
- Hormigón con restos de PP picado (PP) - (1:0:3:1:2:0,7)
- Hormigón con aserrín fino (A) - (1:0:1:3:2:0,7)
- Hormigón normal utilizando una botella vacía de 500 cm³ ubicada verticalmente en el centro de la probeta (CB)

C: Cemento tipo Portland normal. CA: Cal hidráulica. AF: agregados finos (arena). AG: agregados gruesos (piedra partida). R: reemplazos. A: agua.

2.5 - Referencias:

[1] Norma IRAM 1601 - "Agua para mezclado y/o curado de morteros y hormigones. Norma IRAM 1503 - "Cemento Portland Normal". Norma IRAM 1505 - "Granulometría de Agregados Finos y Gruesos". Norma IRAM 1627 - "Granulometría de agregados para hormigones"

[2] Hormigón Armado Tomo I. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A. (Jiménez Montoya P., García Meseguer A., Morán Cabré F. :1987)

[3] Reciclar S.A. - Heredia 3220 - CP: 1872 – Sarandí, Buenos Aires, Argentina - Tel. (54) (11) 4205-0102 - Fax: (54) (11) 4205-1086 - e-mail: reciclar@rcc.com.ar - Contacto: Sr. Nicolás Pell Richards

[4] Aislantes Laporte – Av. Luro 5432 – CP: 7600 – Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina - Tel. (54) (223) 472-5108 - e-mail: ciappi@copetel.com.ar

CAPÍTULO 3:

MÉTODOS

3.1 – Introducción

Hormigón. Mezclas frescas y endurecidas:

El hormigón se presenta bajo dos aspectos físicos muy diferentes a lo largo de su vida. Inmediatamente después del mezclado y por un breve lapso de tiempo posee las propiedades de un líquido con cierta viscosidad, durante el cual se lo llama "hormigón fresco". Luego, a partir del instante en que comienza a ofrecer resistencia a la deformación, adquiere un estado sólido que se mantiene por el resto de su vida útil, en el cual se lo denomina "hormigón endurecido".

Hormigón fresco. Importancia del conocimiento de sus propiedades:

Durante el lapso en que la mezcla se mantiene fresca (habitualmente hasta 3 horas luego del mezclado) se ejecutan las operaciones necesarias para trasladar el hormigón desde el lugar de elaboración al de colocación, el llenado de los moldes y la compactación. Si bien en un principio podría parecer poco importante esta etapa, si se tiene en cuenta las consecuencias que tienen los procesos de mezclado, transporte y colocación sobre las propiedades finales del hormigón, se puede asegurar que se trata de una etapa fundamental. La falta de control de las propiedades de la mezcla fresca provoca frecuentemente fallas como consecuencia de la segregación de los componentes de la mezcla, la aparición de huecos o la falta de envoltura correcta de los agregados gruesos con el mortero (mezcla

homogénea de pasta cementicia y agregados finos), como pueden ser: baja resistencia mecánica y vulnerabilidad ante la acción de agentes agresivos.

Para evitar que se produzcan los inconvenientes mencionados deben adoptarse los recaudos necesarios a fin de lograr que la mezcla sea trabajable, independientemente de las condiciones que se hayan fijado para el hormigón endurecido. Es inútil pretender lograr un hormigón de calidad, tanto en lo referente a su resistencia mecánica como a su durabilidad, si no se dispone de una mezcla fresca trabajable. Como ejemplo de esto puede citarse el caso de una estructura en la que las probetas moldeadas, al ser ensayadas a la compresión, dan valores altos de cargas de rotura (lo que en un principio podría hacer pensar que la mezcla empleada ha sido la adecuada), sin embargo los elementos estructurales ejecutados pueden presentar discontinuidades debidas a deficiencias durante el colado, que pueden detectarse con ensayos destinados a la mezcla fresca, que disminuyen en gran medida la seguridad del conjunto.

Una vez que se ha estudiado una mezcla para lograr el cumplimiento simultáneo de todas las condiciones fijadas mientras se mantenga fresca, si no se cambian las características de la estructura a ejecutar ni el método de compactación, puede asegurarse que la mezcla mantendrá su aptitud para el uso previsto (si no se modifican los componentes o sus proporciones) siempre que mantenga constante también su *asentamiento*. Por lo tanto, realizando adecuadamente los ensayos de consistencia, se puede tener la certeza de que si se mantiene constante (dentro de una tolerancia preestablecida) el valor obtenido para el asentamiento, la mezcla continúa siendo adecuada para esas condiciones de colocación.

Hormigón endurecido. Propiedades importantes a determinar:

Teniendo en cuenta que la densidad final del hormigón es una propiedad que expresa la masa contenida en un determinado volumen, que ese valor se mantiene aproximadamente constante independientemente de las dimensiones de los bloques, y que siendo la mezcla uniforme ésta puede medirse en cualquier porción de material, se decidió medir la densidad mediante un método no destructivo a partir de las probetas destinadas a los diferentes ensayos mecánicos.

Por otra parte, y tal como previamente fue explicado, la mezcla endurecida corresponde a la etapa en la vida del hormigón que comienza en el momento en que se ha alcanzado un grado de hidratación tal de la pasta cementicia como para que sea capaz de mantener unidos entre sí los granos de los agregados en forma permanente. Esto se pone en evidencia por la resistencia que ofrece una pieza de hormigón al cambio de forma por acción de una sollicitación mecánica. Esta sollicitación puede reproducirse en un laboratorio mediante el sometimiento de probetas moldeadas con el hormigón en estudio a diferentes ensayos como pueden ser el de resistencia a la rotura por compresión y el de resistencia a la flexión.

3.2 – Consistencia

3.2.1 - Consistencia. Elección del método de ensayo de consistencia.

Se denomina "consistencia" al grado de fluidez del hormigón fresco. De la experiencia que se dispone sobre las relaciones entre los valores a medir en cada ensayo y la aptitud de las mezclas para diferentes formas de colocación y compactación, surge la utilidad que brinda cada método de ensayo en particular. El método elegido para evaluar la consistencia fue el ensayo de "Tronco de cono de Abrams". Se trata del método de mayor grado de generalización empleado debido a que, además de permitir obtener una medición cuantitativa acerca del valor del asentamiento, permite también establecer una estimación adecuada y de manera simple de otros diferentes aspectos (grado de cohesión, presencia de agua libre, etc) relacionados con la trabajabilidad de la mezcla fresca.

3.2.2 - Ensayo de Asentamiento con Tronco de Cono de Abrams [1]

Dispositivos:

- Tronco de cono de chapa, de 30 cm. de altura y 20 cm. de diámetro en la base inferior, y 10 cm. de diámetro en la base superior. Figuras 3.1 y 3.2

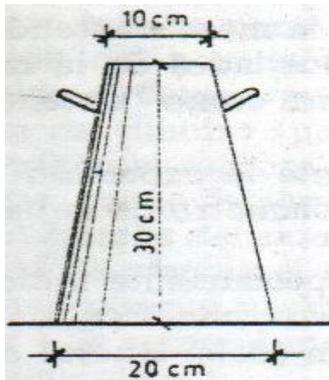


Figura 3.1 – Dimensiones



Figura 3.2 –Tronco de Cono utilizado

- Varilla compactadora, de acero común liso de 16 mm. de diámetro y 60 cm. de largo, con la punta redondeada en semiesfera.

3.2.3 - Ejecución del ensayo

Se coloca el dispositivo sobre una superficie lisa, plana, horizontal y no absorbente: se lo mantiene afirmado contra el piso, apoyando los pies sobre las orejas inferiores del dispositivo. El molde tronco-cónico se llena en la mezcla con tres capas iguales, compactadas con la varilla mediante 25 golpes enérgicos por

capa, que atraviesan la capa a compactar pero no las inferiores. Figura 3.3. Cuando se llega a la base superior se enrasa con cuchara dejando la superficie del hormigón lisa. Se levanta el molde tomándolo por las manijas superiores hasta dejar libre totalmente la mezcla en estudio. Esta operación se efectúa inmediatamente después de completada la compactación y en forma vertical y gradual.

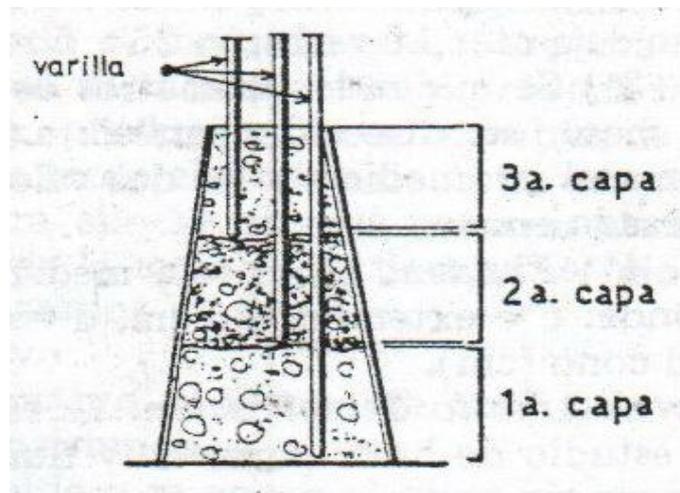


Figura 3.3 – Llenado del Tronco de Cono.

3.2.4 - Medición del asentamiento

Se efectúa colocando una regla apoyada sobre el molde (el que se ubica junto a la mezcla a ensayar), la regla establece un plano de comparación horizontal a 30 cm. de altura sobre el piso. Inmediatamente, tras un breve lapso de tiempo en que se estabiliza el asentamiento, se mide con otra regla con la precisión necesaria el descenso producido en el punto central de la base superior con respecto a la altura original. El valor, determinado con precisión de 5 mm, es una medida de la consistencia o movilidad de la mezcla (Figura 3.4).

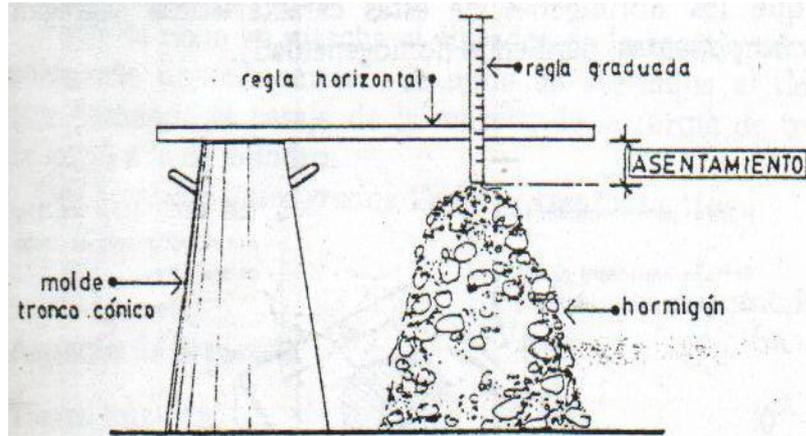


Figura 3.4 – Medición del Asentamiento.

3.2.5 - Estimación de la trabajabilidad

El aspecto del hormigón permite apreciar en forma aproximada su grado de trabajabilidad para las condiciones de colocación y transporte del material. Existen diferentes métodos prácticos para verificar si la mezcla fresca posee la trabajabilidad adecuada. Se golpea la masa con la varilla lateralmente para determinar el grado de cohesión, se aplica suavemente la cuchara sobre la superficie para verificar si la mezcla contiene suficiente mortero, se observa la posible presencia de agua libre para verificar la graduación de agregado fino, etc.

3.2.6 - Ámbito de empleo

Se adapta especialmente al estudio de hormigones plásticos, con valores de asentamiento entre 2 y 16 cm. Fuera de estos dos límites, los asentamientos medidos no resultan confiables en cuanto a su relación con las propiedades de la mezcla.

3.3 - Mediciones de densidad

Actualmente, para determinar la densidad del hormigón en un laboratorio, existen métodos complejos de realizar llamados "atómicos", en los que se hace pasar una radiación de intensidad conocida a través de una probeta y se obtiene el valor de la densidad a partir de los valores de la radiación transmitida y el espesor. En el caso de este trabajo, teniendo en cuenta los elementos disponibles y la precisión requerida, se decidió realizar la determinación de la densidad de las probetas a partir de medidas de peso y volumen. Las dimensiones se determinaron con calibre (± 0.02 mm), y el pesado se efectuó en una balanza con una precisión de ± 0.1 kg. En las probetas preparadas para el ensayo por compresión, ambas mediciones se realizaron previamente al proceso de encabezamiento.

De esta manera, se determinó la densidad aparente " δ " de las probetas mediante la fórmula:

$$\delta = m / V$$

donde δ es la densidad aparente, m es la masa y V es el volumen.

y las variaciones relativas porcentuales de la densidad de cada material ($\Delta\delta$)

respecto al hormigón normal mediante la fórmula:

$$\Delta\delta = (\delta_N - \delta) \cdot 100 / \delta_N$$

donde δ es la densidad de cada material y δ_N la densidad del hormigón normal.

3.4 - Ensayo de resistencia a la rotura por compresión.

3.4.1 - Dimensiones y forma de las probetas

Este ensayo se ejecuta sobre probetas de forma cilíndrica con una esbeltez (altura de la probeta / diámetro de la base) igual a 2. Las dimensiones de la probeta dependen del tamaño máximo del agregado grueso utilizado, siendo regla establecida por la ASTM e IRAM que el diámetro de la base de la probeta iguale o supere 3 veces dicho tamaño máximo. En el caso de este trabajo se elaboraron probetas de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura. (Figura 3.5)

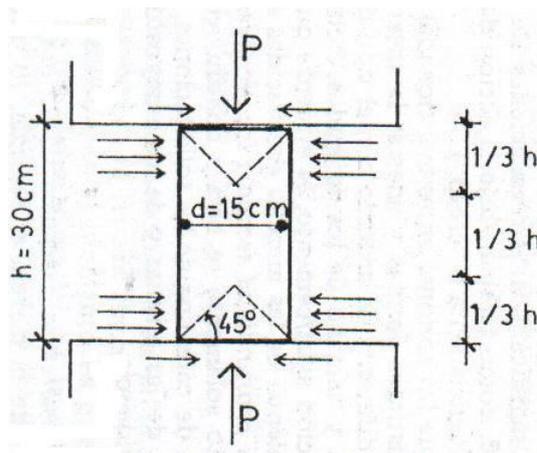


Figura 3.5 – Esquema de las probetas para compresión

3.4.2 - Moldeo de las probetas

De acuerdo a la norma ASTM C873 – 99 el moldeo se efectúa colocando y compactando el hormigón en forma similar a la empleada para el ensayo de asentamiento con Tronco de Cono de Abrams previamente descrito. En este caso se utilizaron moldes metálicos lubricados lateralmente con aceite. Figura 3.6.



Figura 3.6 – Moldes Utilizados

3.4.3 – Curado y encabezado

Las probetas se mantuvieron en sus moldes durante un período de 24 horas. En ese lapso no sufrieron vibraciones, sacudidas ni golpes. Se protegió la cara superior con una lámina de polietileno y se mantuvieron en un ambiente protegido de inclemencias climáticas (calor, frío, lluvia y vientos). Una vez transcurridas las primeras 24 horas se procedió a realizar el desmolde e inmediatamente se acondicionó la probeta para su mantenimiento hasta el momento de ensayo. Durante este último período de 27 días se mantuvieron condiciones de temperatura y humedad que aseguraron la continuidad del proceso de hidratación de la pasta cementicia. Al no disponer de instalaciones especiales para un curado óptimo en laboratorio, se lograron las condiciones aceptables colocando las probetas en baño húmedo (en el interior de bolsas de polietileno dentro de un tanque provisto de tapa con una solución sobresaturada de cal hidráulica en agua), con el objetivo de que las mismas lleguen al momento del ensayo mediante un proceso de hidratación como el que establecen las normas mencionadas (HR:95±5 %).

Previo al ensayo de compresión, se prepararon las superficies de las bases del cilindro de manera que resultaran paralelas entre sí, planas y lisas con las tolerancias de norma. Esto se logró efectuando el proceso de encabezado empleando cemento tipo Portland de Alta Resistencia Inicial, que se colocó sobre una bandeja de acero pulido endurecido, e inmediatamente se apoyó sobre la mezcla fresca la probeta en posición vertical para lo cual el dispositivo encabezador está provisto de guías (Figura 3.7). Luego de un breve período de tiempo en el que se mantuvo en contacto la probeta con la mezcla, ésta se endureció y se adhirió firmemente a la probeta, lo que permitió que quede en condiciones de ser sometida al ensayo de rotura por compresión.

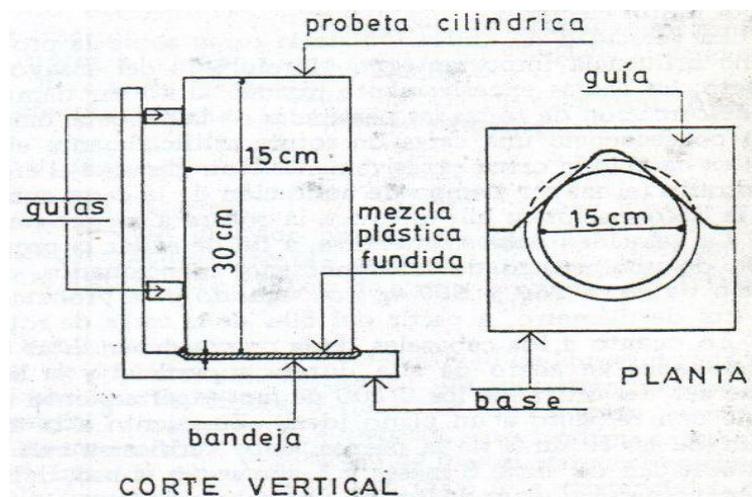


Figura 3.7 – Esquema de la guía encabezadora de probetas

3.4.4 - Ejecución de los ensayos

Para estos ensayos se utilizó una máquina tipo prensa hidráulica Amsler de compresión, de accionamiento eléctrico y con una capacidad máxima 100 ton. Figura 3.8. La lectura de la carga aplicada se efectuó directamente sobre un cuadrante de manómetro calibrado en toneladas con menor división de 0,1 ton. La velocidad de aplicación de la carga sobre la probeta se mantuvo en todos los casos entre 0,25 y 0,6 ton. por segundo.



Figura 3.8 – Máquina de ensayos de compresión utilizada

3.4.5 - Análisis de los datos

Para el análisis de los datos se siguieron las especificaciones de la norma correspondiente [2], donde se determinó, entre otros valores, el de la resistencia a la compresión " σ_c " mediante la fórmula:

$$\sigma_c = P / (D^2 / 4)$$

donde: σ_c es la resistencia a la compresión, P es la carga máxima aplicada y D es el diámetro de la probeta.

3.5 - Ensayo de resistencia a la flexión.

3.5.1 - Dimensiones, forma y obtención de las probetas

Se elaboraron probetas prismáticas ($23,0 \times 7,8 \times 5,8 \text{ cm}^3$), obtenidas por corte a partir de bloques de dimensiones $23,0 \times 7,8 \times 11,8 \text{ cm}^3$, fabricados siguiendo los métodos descritos por la norma respectiva [2] y con un apisonado en dirección vertical sobre la cara superior libre de $23,0 \times 11,8 \text{ cm}^2$. El corte se realizó con un disco diamantado y refrigeración con agua.

3.5.2 - Ejecución del ensayo

Los ensayos mecánicos se realizaron en la configuración de flexión en tres puntos empleando una máquina mecánica Instron 4776 (Figura 3.9), con una distancia entre apoyos (span) de 178 mm y una velocidad de desplazamiento de travesa de 1,3 mm/min. Las condiciones del ensayo y geometría de las probetas se definieron sobre la base de la norma ASTM C 133-97 [3], las características de los materiales (en especial el tamaño de los agregados) y por sobre todo el límite establecido por la celda de carga disponible.



Figura 3.9 – Máquina de ensayos de flexión utilizada

3.5.3 - Análisis de los datos

Para el análisis de los datos se siguieron las especificaciones de la norma ASTM D 790-03 [4], donde se determinó, entre otros valores, el de la resistencia a la flexión ' σ_f ' mediante la fórmula:

$$\sigma_f = 3PL / 2bd^2$$

donde: σ_f es la resistencia a la flexión, P es la carga máxima aplicada, L es el span (17,8 cm), b es el ancho de la probeta (7,8 cm) y d es la altura de la misma (5,8 cm).

Aclaración: La decisión de utilizar las mencionadas normas relacionadas con polímeros y materiales refractarios tuvo la intención de poder realizar un análisis más amplio y así evaluar ciertas propiedades no contempladas en las normas utilizadas para ensayos de hormigón.

3.6 - Referencias:

- [1] Norma IRAM 1536 - "Hormigón fresco de cemento pórtland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono".
- [2] Norma ASTM C873 - 99 - "Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds".
- [3] Norma ASTM C 133 – 97 - "Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories".
- [4] Norma ASTM D 790-03 - "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials".

CAPÍTULO 4:

RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 - Trabajabilidad y asentamiento

Si bien no fue planeado desde la etapa inicial del proceso de elaboración de probetas realizar una evaluación exhaustiva de las mezclas frescas, durante el transcurso de las primeras etapas fueron surgiendo algunas problemáticas relativas a la trabajabilidad y la consistencia de las mismas en el momento del llenado de los moldes, sobre todo para aquellas que incorporaron PS expandido y aserrín. Es por esto que se decidió, teniendo en cuenta las consecuencias que arrastra una inadecuada evaluación de estas propiedades, que para las siguientes etapas de preparación sea estudiado in-situ más profundamente el hormigón fresco. De esta manera, una vez conseguido el equipamiento necesario, para las últimas mezclas preparadas de hormigón normal, con aserrín y PS expandido (en ambas proporciones), fue estudiada la trabajabilidad de las mezclas frescas y fueron ejecutados los correspondientes ensayos de medición de asentamiento.

4.1.1 - Estimación de la trabajabilidad

El aspecto de la mezcla fresca permitió en todos los casos apreciar en forma aproximada su grado de trabajabilidad para las condiciones de su utilización.

Al golpear la masa con la varilla de manera suave lateralmente se determinó aproximadamente el grado de cohesión. Para ninguna de las mezclas estudiadas se apreció que las mismas se desmoronaran, manifestando que cada una de éstas contenía la cohesión mínima necesaria para evitar la segregación.

Sin embargo, en algunos casos, al aplicar suavemente la cuchara sobre la superficie de las mezclas se comprobó que no todas contenían suficiente mortero (cemento, agregados finos y agua) como para permitir una terminación cerrada.

Este fue el caso de las mezclas que utilizaron Telgopor, donde se presentaron ciertas dificultades durante el mezclado. La presencia de agua libre que se separaba del resto de los materiales indicaba una posible insuficiencia de agregado fino que la retenga o una graduación incorrecta del mismo respecto al contenido del líquido (Figura 4.1).

Dicha dificultad obtenida durante la etapa fresca del hormigón con Telgopor conllevó a que luego, tras la etapa de fraguado y endurecimiento, las probetas exhibieran además de las heterogeneidades relacionadas con la insuficiencia de mortero, mayor proporción de partículas de PS en la parte superior que en el resto de la misma, ocasionadas por la muy baja densidad y la alta carga estática de este tipo de desecho (Figura 4.2).



Figura 4.1 – Presencia de agua libre



Figura 4.2 – Desproporción de PS

Para la preparación de probetas con aserrín reemplazando agregados finos fue necesario adicionar una cantidad extra de agua durante la etapa de elaboración para lograr una consistencia adecuada (aún sabiendo que se sacrificaba resistencia en el material endurecido por el aumento de la relación agua/cemento) debido a

que el material presenta características hidrofílicas y en un principio, con la cantidad inicial de agua, la mezcla fresca no era trabajable (Figura 4.3).

Finalmente las probetas presentaron una buena homogeneidad (Figura 4.4).



Figura 4.3 – Mezcla no trabajable



Figura 4.4 – Homogeneidad

Para las probetas de hormigón normal, en cambio, al emplear la cuchara lateralmente para identificar heterogeneidades se observó una terminación cerrada y muy uniforme (Figura 4.5). Como consecuencia, luego presentaron una apariencia notablemente mejor en la etapa de hormigón endurecido (Figura 4.6).



Figura 4.5 – Terminación cerrada



Figura 4.6 – Uniformidad

4.1.2 - Asentamiento

Si bien la determinación de la consistencia de la mezcla fresca no mide directamente la trabajabilidad, mediante el ensayo de asentamiento realizado se pudo calificar cuantitativamente la facilidad con la que el hormigón estudiado puede fluir, verificándose que se encuentra dentro del intervalo esperado para un hormigón preparado utilizando los materiales y la dosificación especificada.

Los resultados obtenidos durante la medición del asentamiento se muestran en la

Tabla 4.1.

Tipo / Nº de mezcla	Normal (N) Mezcla I	Normal (N) Mezcla II	Con Telgopor (PS1)	Con Telgopor (PS2)	Con Aserrín (A)
Asentamiento (cm)	3.0 ± 0.5	3.0 ± 0.5	5.0 ± 0.5	6.0 ± 0.5	3.0 ± 0.5

Tabla 4.1 – Medición del asentamiento obtenido

Es importante aclarar que la trabajabilidad es una propiedad de significado complejo, ya que abarca propiedades de la mezcla fresca que se relacionan con la “facilidad de colocación”; de esta manera una misma mezcla puede ser trabajable para ciertas condiciones y para otras no.

La tabla 4.2 muestra una relación estimada entre la trabajabilidad, los rangos de consistencia y discrepancia y las denominaciones para los asentamientos típicos del hormigón fresco con los métodos de colocación más comunes [1]. Mediante la misma se puede clasificar al hormigón estudiado entre trabajabilidad baja/media y consistencia semi-seca/plástica y adecuada para utilizarse mediante un apisonado normal/enérgico.

Trabajabilidad	Rango de Consistencia	Asentamiento A (cm)	Discrepancia (cm)	Compactación	Vibración
Muy Baja	Seca	$A \leq 2$ (semi-seco)	$\pm 1,5$	Compactado a rodillo para uso vial (H.C.R.V.)	
Baja	Semi-seca	$2 < A \leq 5$ (duro)		Apisonado Enérgico	Intenso de Superficie o Inmersión
Media	Plástica	$5 < A \leq 10$ (plástico)	$\pm 2,5$	Varillado o Apisonado Normal	Normal de Inmersión
Alta	Fluida	$10 < A \leq 15$ (blando)	$\pm 3,0$	Varillado	Leve de Inmersión
	Muy Fluida	$15 \leq A$ (fluido)	$\pm 3,5$	Varillado	No deben vibrarse

Tabla 4.2 – Valores típicos

4.2- Densidad

En la Tabla 4.3 se presentan los valores promedio de densidad de las probetas cilíndricas (δ_c) y densidad de las probetas prismáticas (δ_f) obtenidos para cada material y las variaciones relativas porcentuales respecto al hormigón normal ($\Delta\delta_c$ y $\Delta\delta_f$).

Material	δ_c (kg/m ³)	$\Delta\delta_c$ %	δ_f (kg/m ³)	$\Delta\delta_f$ %
Hormigón normal (N)	2040 ± 130	-	2110 ± 80	-
Con PS expandido (PS)	1530 ± 80	25	1690 ± 30	20
Con PS expandido (PS2)	840 ± 110	59	1280 ± 80	39
Con restos de PP picado (PP)	1640 ± 160	20		
Con restos de PET en escamas (PET)	1750 ± 140	14		
Con Aserrín (A)	1790 ± 110	12		
Con Botella en el centro (CB)	1690 ± 70	17		

Tabla 4.3 – Densidades obtenidas

Los valores de densidad obtenidos para el hormigón normal fueron comparados con datos bibliográficos [2] encontrándose dentro del intervalo esperado para un hormigón preparado utilizando materiales similares y la misma dosificación.

Las variaciones relativas porcentuales en la densidad del hormigón con alta proporción de Telgopor (PS2) indican una elevada disminución (hasta 59 %) respecto al hormigón normal (sin reemplazos). Esto se debe a la incorporación a la

mezcla de una alta proporción de dicho material, con valor de densidad mucho menor (aproximadamente 25 kg/m^3) a la de los agregados inertes tradicionales que reemplazan (entre 1600 y 2500 kg/m^3).

Con respecto al resto de los materiales, si bien las variaciones no fueron tan altas, las mismas indican una disminución significativa (entre 12 y 25%) respecto al hormigón normal. Esto se debe a la incorporación a la mezcla de menor proporción de reemplazos con valor de densidad significativamente menor a la de los agregados inertes tradicionales.

En el caso particular de las probetas realizadas con botellas vacías de 500 cm^3 ubicadas verticalmente en el centro de las mismas, su variación relativa porcentual en la densidad respecto a aquellas rellenas completamente con hormigón de idéntica dosificación está relacionada y es consecuente cuantitativamente con la falta de este material en el volumen ocupado por la botella.

La mayor densidad de las probetas prismáticas en relación a las cilíndricas, sobre todo en el caso de aquellas con incorporación de Telgopor en alta proporción, podría deberse a las diferencias durante el conformado, más precisamente en el momento de la compactación de la mezcla fresca teniendo en cuenta una eficiencia superior en el apisonado de las prismáticas debido a su mayor superficie transversal que permitió que se llene más completamente el molde, expulsando macroburbujas de aire y densificándolo. Como consecuencia de esto, es esperable un material endurecido con menor porosidad.

La dispersión en los valores de densidad para los diferentes materiales es la esperada para un hormigón preparado utilizando los métodos y las dosificaciones ya descriptas.

La menor dispersión en los valores de densidad obtenidos para probetas prismáticas respecto a la de los valores de las probetas cilíndricas podría atribuirse también a la eficiencia del apisonado en la etapa de elaboración de las primeras, que permite la producción de un hormigón más denso, menos poroso y más uniforme.

4.3- Resistencia mecánica

4.3.1 - Resistencia a la flexión

La Tabla 4.4 muestra los valores promedio de módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) obtenidos. Fueron ensayadas al menos 8 probetas para cada material.

Material	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Hormigón normal (N)	2.13 ± 0.9	56.5 ± 15
Con PS expandido (PS)	1.42 ± 0.2	47.1 ± 19
Con PS expandido (PS2)	0.49 ± 0.1	10.2 ± 5

Tabla 4.4 – Resistencia mecánica en flexión

Los valores de resistencia a la flexión obtenidos para el hormigón normal fueron comparados con datos bibliográficos [3] encontrándose dentro del intervalo esperado para un hormigón preparado utilizando materiales similares y la misma dosificación.

El valor de resistencia a la flexión del hormigón con baja proporción de PS expandido fragmentado como reemplazo de material inerte indica una disminución del 33 % respecto al hormigón que utiliza agregados granulares sin reemplazos, mientras que para la mezcla con alta proporción de Telgopor esta disminución fue del 77 %. La baja de la resistencia mecánica en flexión del hormigón al incorporar PS expandido puede explicarse basándose en la pérdida de adherencia entre el material ligante y el reemplazo debido a la forma lisa y diferente naturaleza química del mismo y la menor rugosidad de su superficie.

Para el caso particular del material con alta proporción de Telgopor incorporado, teniendo en cuenta la dosificación utilizada, es esperable una disminución considerable en la resistencia debido a dos factores importantes: el reemplazo de parte del material ligante (cemento) por cal hidráulica y la incorporación de mayor contenido de agua (con el consecuente aumento de la relación agua/cemento).

También hubo una disminución en el módulo de elasticidad con la incorporación de Telgopor. Ésta fue del 17% para el material que incorporó baja proporción del mismo, mientras que con alta proporción la baja fue significativamente más importante, del 82%. Es sabido que teóricamente esta propiedad depende de la naturaleza de los constituyentes y sus proporciones. Evidentemente el reemplazo (sobre todo en alta proporción) de agregados de origen cerámico por PS expandido provoca serias disminuciones en esta propiedad. También debe tenerse en cuenta para el caso del PS2 el cambio en la matriz por el reemplazo de parte del material ligante (cemento por cal).

Las curvas típicas de esfuerzo-deformación que se grafican en la Figura 4.7 para los ensayos de flexión en tres puntos de hormigón normal y hormigón con PS expandido muestran que, aunque la resistencia es marcadamente mayor en el primero, su fractura es más frágil que para el material con PS expandido, donde la falla es marcadamente más dúctil a medida que aumenta la proporción de reemplazos, resultando un proceso más controlado. Esto se evidencia también con la alta desviación estándar en el MOR para el hormigón normal, que muestra que debido a la fragilidad de dicho material se obtuvieron valores de resistencia relativamente disímiles entre sí con cada probeta. En cambio este último valor

para hormigón con PS expandido, en ambas proporciones, fue marcadamente menor y se condice con la ductilidad de la falla.

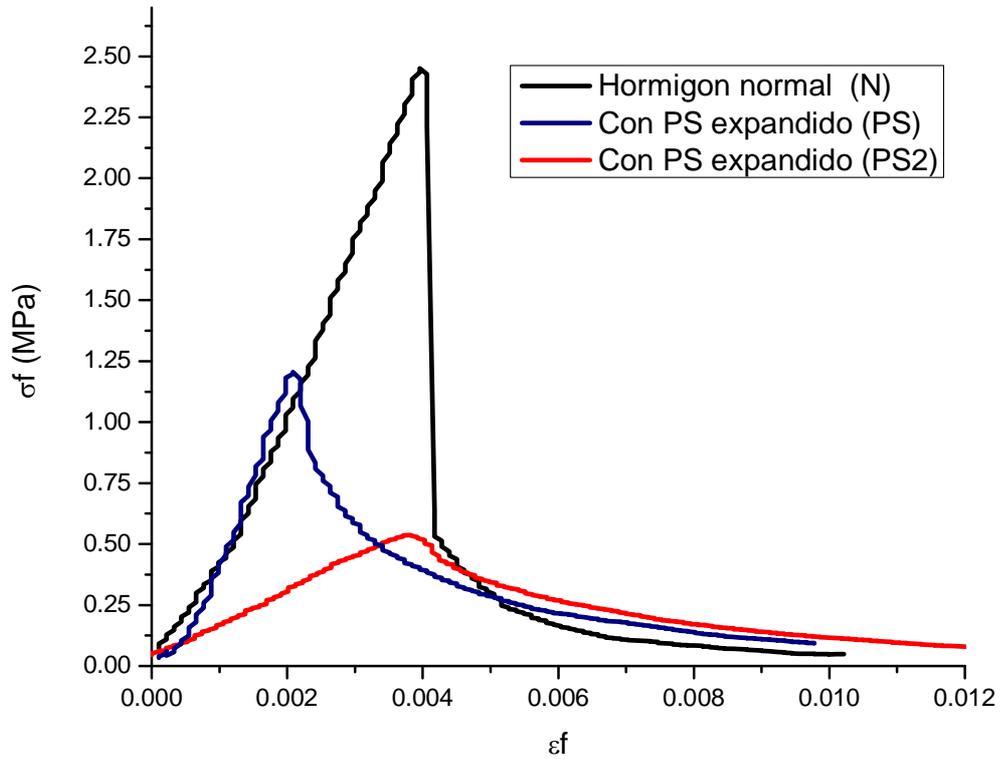


Figura 4.7 – Curvas típicas de flexión

Diferentes tipos de fractura obtenidas en las probetas ensayadas en flexión pueden observarse en la Figura 4.8.

En la totalidad de las probetas sometidas a flexión se obtuvieron fracturas iniciadas a partir de una fisura en una zona cercana a la línea central de la cara de máxima sollicitación en tracción (ver ejemplo de PS2 en Figura 4.8.1).

Para el hormigón normal la fisura se inició en una zona muy cercana al centro y se propagó bordeando los agregados gruesos. En la Figura 4.8.2 se observa claramente cómo la fisura, al propagarse, corre alrededor del agregado grueso (piedra partida) rodeándolo en toda su superficie. En el caso del material con PS expandido fragmentado, en algunos casos la fisura resultante estuvo ciertamente desplazada del centro (ver ejemplo de PS1 en Figura 4.8.3), bordeó los fragmentos de Telgopor y por lo general fue notoriamente más ramificada (ver ejemplo de PS1 en Figura 4.8.4).



Fig. 4.8.1 – HN - Iniciación de fisura



Fig. 4.8.2 – HN - Propagación de fisura



Fig. 4.8.3 – Fisura desplazada (PS2)



Fig. 4.8.4 – Fisura ramificada (PS2)

Figura 4.8 – Tipo de fractura de probetas ensayadas en flexión

4.3.2 - Resistencia a la compresión

La Tabla 4.7 muestra los valores promedio de resistencia a la compresión (σ_c) obtenidos para cada material. Fueron ensayadas al menos 6 probetas en cada caso.

Material	σ_c (MPa)
Hormigón normal (N)	7.96 ± 2.8
Con Botella en el centro (CB)	5.21 ± 2.0
Con PS expandido (PS)	4.83 ± 1.7
Con restos de PET en escamas (PET)	4.75 ± 1.4
Con restos de PP picado (PP)	4.23 ± 0.8
Con Aserrín (A)	3.39 ± 0.3
Con PS expandido (PS2)	1.58 ± 0.6

Tabla 4.7 – Resistencia mecánica en compresión

Los valores de resistencia a la compresión para el hormigón normal fueron comparados con datos bibliográficos [3], encontrándose dentro del intervalo esperado para un hormigón preparado utilizando materiales similares y la misma dosificación.

El valor de resistencia a la compresión en la mezcla que incorpora alta proporción de PS expandido fragmentado como reemplazo de material inerte indica una disminución del 80 % si se lo compara con el valor obtenido para el hormigón que utiliza agregados granulares sin reemplazos, mientras que en el resto de las mezclas con desechos urbanos se observa una disminución de entre el 34 y el 57 % respecto al hormigón normal.

La disminución de la resistencia mecánica en compresión del hormigón al incorporar desechos como reemplazos de agregados inertes puede explicarse basándose en la pérdida de adherencia entre el material ligante y los reemplazos debido a la diferente naturaleza química de los mismos y la menor rugosidad de sus superficies.

En el caso de la incorporación de restos de PET en escamas y restos de PP picado, la forma plana de los desechos provoca una alteración perjudicial en el empaquetamiento de los elementos que forman la pasta cementicia y una propagación de fisura menos controlada al momento de ser solicitado el material endurecido. También se observa cierta aglomeración de estas escamas/etiquetas, sobre todo en la superficie (ver figura 4.9 de una probeta de PP), por lo que se deduce que su dispersión en la mezcla es no es del todo eficiente y provoca en algunos casos la rotura en esa zona del material (ver ejemplo de superficie de fractura resultante en una probeta de PET en Figura 4.10).



Fig. 4.9 – PP – Aglomeración de etiquetas



Fig. 4.10 – PET – Superficie de fractura

En caso particular del material con alta proporción de Telgopor incorporado, teniendo en cuenta la dosificación utilizada, es esperable una disminución considerable en su resistencia a la compresión respecto al resto debido al reemplazo parcial de cemento por cal hidráulica y a la incorporación de mayor contenido de agua (con el consecuente aumento de la relación agua/cemento).

Para el hormigón que incorpora aserrín como reemplazo de agregado fino debe tenerse en cuenta que la absorción de agua durante el momento del mezclado (ver figura 4.11) debido a la naturaleza hidrofílica del mismo puede producir una relación agua/cemento inadecuada de la pasta cementicia, que se traduce en una disminución de su resistencia mecánica final.



Fig. 4.11 – Aserrín - Absorción de agua durante el mezclado

La figura 4.12 muestra cinco diferentes tipos de fractura posibles que pueden obtenerse como resultado de ensayos en compresión de hormigón teniendo en cuenta la geometría de las probetas y el estado tensional producido en las mismas durante el ensayo [4].

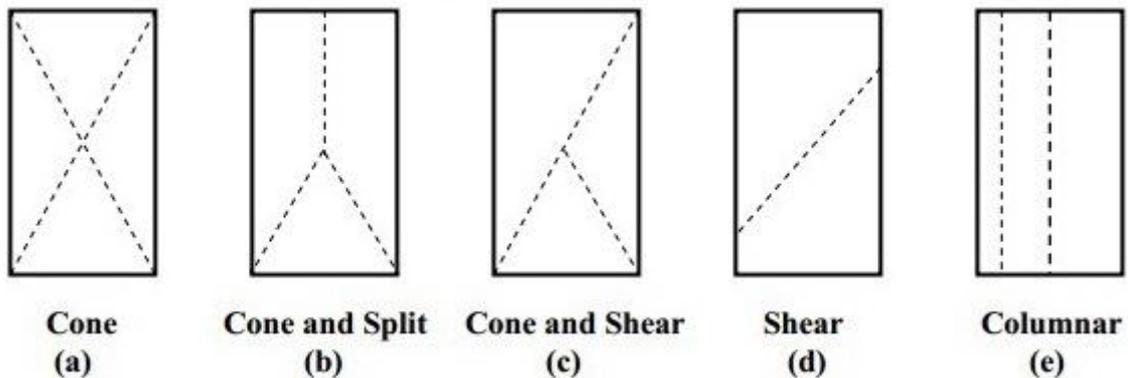


Figura 4.12 – Tipos de fractura típicos

Los primeros tres tipos de fractura (4.12.a), (4.12.b) y (4.12.c) son fracturas típicas posibles para ensayos de hormigón normal. Hormigón con baja proporción de agregado grueso puede fallar en modo corte (4.12.d) y una falla en modo columnar (4.12.e) puede indicar problemas en el ensayo [5].

Tipos de fractura obtenidas en las probetas ensayadas en compresión pueden observarse en la Figura 4.13.

Se obtuvieron en general fracturas tipo cono, cono-separación y cono-corte, siendo éstas más notorias para las probetas de hormigón normal (Figura 4.13.1) y aquellas que incorporaban PET en escamas (Figura 4.13.2). El resto de las probetas con reemplazos, si bien seguían un patrón de fractura similar, en varios casos éste no estaba tan definido, como por ejemplo en el caso del hormigón con restos de PP picado (Ver figura 4.13.3) y en PS expandido fragmentado en baja y alta proporción (Figuras 4.13.4 y 4.13.5 respectivamente).

Las probetas elaboradas con aserrín fueron las que más se desviaron de las típicas fracturas (ver ejemplo en Figura 4.13.6). Este comportamiento se debe principalmente a la falta de homogeneidad de la mezcla inicial que provoca roturas al azar y el desmenuzamiento de las probetas durante el ensayo, y al bajo contenido de arena como agregado fino.



Fig. 4.13.1: HN – cono-separación



Fig. 4.13.2: PET – cono-corte



Fig. 4.13.3 – Hormigón con PP



Fig. 4.13.4 – Hormigón con PS



Fig. 4.13.5 – Hormigón con PS2



Fig. 4.13.6 – Hormigón con aserrín

Figura 4.13 – Tipos de fractura de probetas ensayadas en compresión

Para las probetas preparadas con hormigón normal utilizando una botella vacía de 500 cm³ en el centro de las mismas se encontró una mayor dispersión en el valor de la resistencia a la compresión que en el caso de la utilización de los desechos de manera fragmentada.

Por otra parte, el orden en la dispersión del resto de los materiales estuvo relacionada con sus valores de resistencia, observándose que a menor resistencia a la compresión la dispersión de este mismo valor fue disminuyendo; excepto en el caso del hormigón que incorporaba alta proporción de PS, para el cual se obtuvo una muy baja resistencia y una alta dispersión en sus valores obtenidos.

4.4 - Resistencia específica:

La Tabla 4.7 muestra los valores promedio de resistencia específica obtenidos para cada material, teniendo en cuenta la resistencia a la compresión y la densidad de las probetas cilíndricas en cada caso.

Material	Resistencia específica (MPa/(g/cm ³))
Hormigón normal (N)	3.90
Con Botella en el centro (CB)	3.08
Con PS expandido (PS)	3.15
Con restos de PET en escamas (PET)	2.71
Con restos de PP picado (PP)	2.58
Con Aserrín (A)	1.90
Con PS expandido (PS2)	1.87

Tabla 4.7 – Resistencia específica

Si bien la resistencia a la compresión y la densidad son dos propiedades muy diferentes y difíciles de comparar, estos valores de resistencia específica reflejan que la incorporación de baja proporción de PS expandido fragmentado y restos de PET en escamas son los más apropiados si se busca una buena relación resistencia/densidad en el material.

4.5 - Análisis económico

Como modo de ejemplo de evaluar la factibilidad de un método posible de llevar a cabo un emprendimiento económico relacionado con la fabricación de bloques con los materiales evaluados, y que el mismo sea redituable, se realizó un trabajo completo de análisis económico poniendo como ejemplo la fabricación de bloques de construcción a partir de hormigón que incorpora restos de PET en escamas. Este trabajo fue elaborado durante el desarrollo de la cátedra "Ingeniería Económica" en el año 2007 [6], y tuvo sus respectivas pre-entregas, correcciones, entrega final, aprobación y evaluación por parte de los docentes de la materia, y finalmente presentado por el autor de este trabajo junto a un grupo de alumnos coautores de este análisis económico. A continuación se detallan algunos de los resultados obtenidos más importantes. El trabajo completo se encuentra anexo.

Inversión:

Precio y armado de la planta de reciclado (instalada): 56.798 US\$

Precio de la mezcladora MF-500 más la conformadora PRIMA: 30.000 US\$

Valor del terreno: 11.600 US\$

$IE = 56.798 \text{ US\$} + 30.000 \text{ US\$} = 86.798 \text{ US\$}$

Coste físico total (CFT) = 152.837 US\$

Factor de costes indirectos: $F1 = 1.525$

Coste total de la planta (CT) = 233.076 US\$

$IF = CT + \text{Terreno} = 327.886 \text{ US\$} + 11.600 \text{ US\$} = 244.676 \text{ US\$}$

Costo de producción:

Materia prima	% en vol	Costo (US\$/ladrillo)	Costo (US\$/año)
cemento	0,13125	0,054694534	44302,57235
piedra	0,13125	0,000802186	649,7710611
PET	0,2625	0,003828617	3101,180064
Arena	0,39375	0,008021865	6497,710611
TOTAL		0,067347203	54551,23408

Tabla 4.8 - Costo de materias primas

Mano de obra:

Total de 10 operarios necesarios más 1 supervisor. El valor de mano de obra (incluidas las cargas sociales) para los operarios es de 3 US\$/Hh y de 5 US\$/Hh para el supervisor.

La planta opera 8 horas por día, 20 días al mes.

Servicios:

Los costos son de 0,026 US\$/kWh y 0,15 US\$/m³ de agua.

<i>Costos variables</i>	<i>(US\$/año)</i>	<i>Costos Fijos</i>	<i>(US\$/año)</i>
Materias primas	54551,23	Depreciación	24472,48
Envases	0,00	Impuestos	3670,14
Mano de obra	67200,00	seguros	1835,07
Supervisión	6720,00	Financiación	0,00
Cargas sociales	Inc. en MO	Ventas y distribución	7776,00
Servicios	1665,82	Administración y dirección	13440,00
Mantenimiento	14680,56	I&D	0,00
Suministros	1835,07	TOTAL	51193,69
Laboratorio	1536,00		

COSTO TOTAL 199382,37 US\$/año

Patentes y Regalías	0,00
TOTAL	148188,69

Tabla 4.9- Costos de Producción

Rentabilidad:

Año	Flujo de caja acumulado
0	-300003,474
1	-214943,27
2	-137423,06
3	-59902,85
4	17617,36
5	95137,56
6	172657,77
7	250177,98
8	327698,19
9	405218,39
10	482738,60

Tabla 4.10 - Flujo de caja acumulado

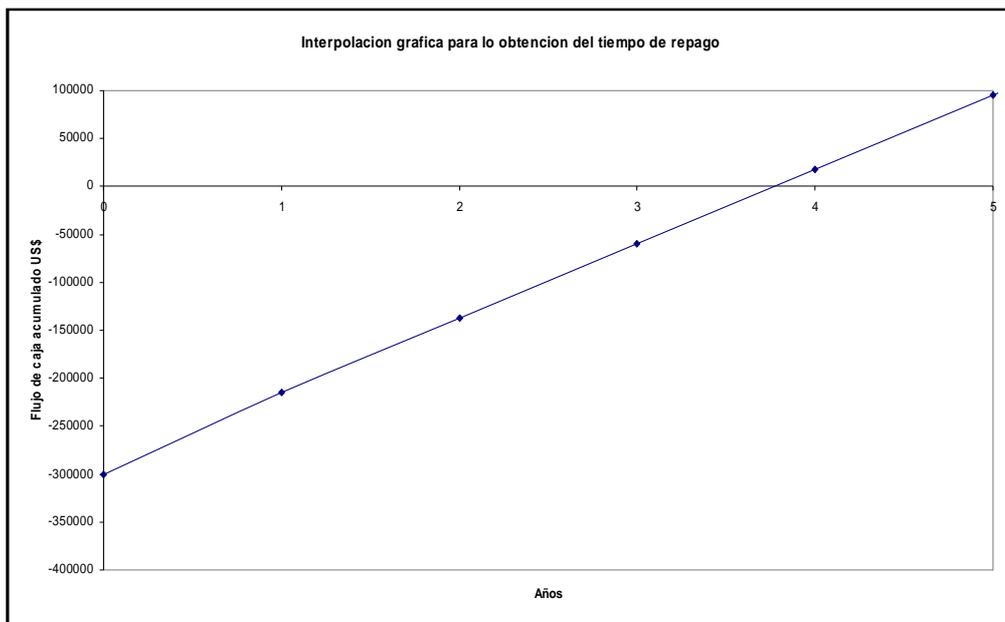


Figura 4.14 - Interpolación grafica para lo obtención del tiempo de repago

De la figura 4.14 se puede apreciar que la intersección se da a los 3,84 años.

Análisis de sensibilidad:

Realizando una variación en los costos de la materia prima y precio de ventas vemos como se modifican los valores de TIR del proyecto de inversión. En la tabla 4.11 se muestran los valores utilizados para obtener el gráfico de la figura 4.15. El factor que más influye sobre la TIR es el precio de venta.

Precio de Venta			Costo de Materias Primas		
Precio (US\$)	TIR %	TIR rel	Costo (US\$)	TIR %	TIR rel
0,384	36,26	1,49	65461,48	21,46	0,88
0,32	24,37	1	54551,23	24,37	1
0,256	11,55	0,47	43640,99	27,29	1,12

Tabla 4.11- Valores calculados de sensibilidad

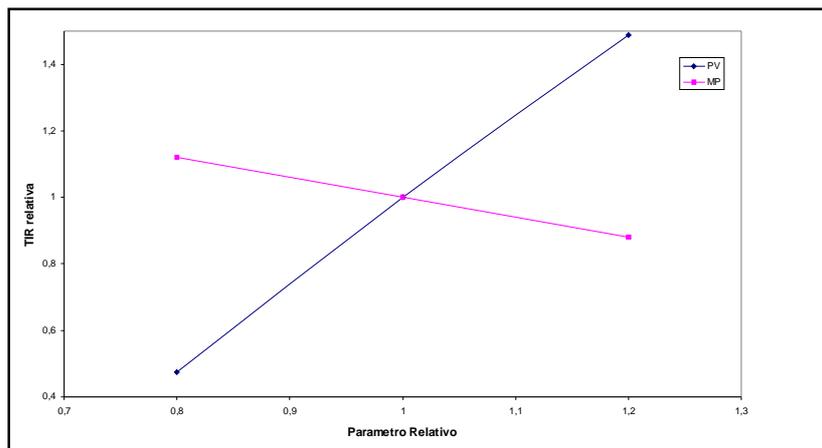


Figura 4.15 - Análisis gráfico de sensibilidad

Se considera que el éxito del proyecto es muy probable dada la situación macroeconómica actual del país. Según los cálculos no sería rentable si los ingresos medios de la población fueran mayores o los precios de los insumos para la construcción menores. Dadas las características del proceso de producción, que se supone que implican un montaje de infraestructura ágil, este puede ser implementado rápidamente, acorde a las condiciones actuales del mercado.

4.6 - Referencias:

- [1] Manual de uso del hormigón elaborado (Asociación Argentina del Hormigón Elaborado:2008).
- [2] The Engineering Handbook, Second Edition. New York. (Dorf Richard C.:2000).
- [3] Curso de tecnología del hormigón (Castiarena A. N., Capítulo 7, "Dosificación de Hormigones:1994).
- [4] Norma ASTM C 39 – 03 - "Standard Test Methods for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".
- [5] Manual of Aggregate and Concrete Testing - Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02.
- [6] Fabricación de ladrillos ecológicos, Grupo 702, Ingeniería económica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata (Florencia Cioffi, Fernando D'Archivio, Emmanuel Faguaga, Nicolás Pascuzzi, Federico Rueda: 2007).

CAPÍTULO 5: **CONCLUSIONES**

Es factible articular un trabajo interdisciplinario de estas características involucrando personas de barrios de la periferia, docentes y estudiantes universitarios de diferentes carreras.

Es necesario continuar con este tipo de proyectos, ya que se encontró en la gente de estos barrios una alta demanda de capacitación y una excelente predisposición para el trabajo.

Es importante realizar seguimientos continuos o al menos inspecciones periódicas a las personas involucradas, sobre todo en las primeras etapas de los trabajos, a fin de controlar progresivamente el avance en las tareas, tanto a modo motivacional como para inspirar confianza y seguridad.

A partir de un proyecto de este tipo se favorece trascendentalmente el desarrollo del capital humano y el capital social a partir del trabajo en conjunto.

Este tipo de trabajos basados en la reutilización de desechos mejora las condiciones del hábitat de los barrios excluidos y paralelamente logra establecer un importante impacto social inculcando la concientización ambiental.

La experiencia en la elaboración de las probetas y el manejo de las mismas durante la etapa de curado afirmó la premisa que es esencial respetar las dosificaciones y los métodos de fabricación con el objetivo de preparar un material de calidad uniforme. Fundamentalmente es de vital importancia un mezclado adecuado y una buena compactación, para evitar la formación de oquedades ocupadas por macroburbujas de aire, bolsones de agua y aglomeración de desechos segregados de la mezcla que dejan huecos al desaparecer y que concluyen en defectos finales. Sumado a esto, una evaluación del asentamiento en obra es imprescindible, y permite de manera relativamente simple verificar que la mezcla fresca esté en condiciones de ser colocada.

Las mediciones de densidad muestran que mediante la incorporación de desechos urbanos al hormigón dentro de las dosificaciones empleadas se logra una notable disminución de esta propiedad, de hasta el 60%. Diferencias substanciales de densidad obtenidas entre mediciones de probetas prismáticas y cilíndricas reveló la importancia que el apisonado juega en la densidad del material endurecido.

Teniendo en cuenta los valores de MOR y MOE obtenidos para hormigón normal y para hormigón con reemplazos de material inerte por PS expandido fragmentado, las relaciones entre estos valores, las curvas típicas adquiridas y los tipos de fractura resultantes puede asegurarse que existe una importante variación en el comportamiento en flexión del hormigón que incorpora Telgopor respecto al hormigón sin reemplazos. En el caso de aquel que incorpora una baja proporción de reemplazos, esta variación no es tan significativa y su modo de falla es ciertamente más controlado. Según los resultados obtenidos en los ensayos, debido a su fragilidad, el hormigón normal puede fallar a una sollicitación similar al que posee una baja proporción de Telgopor.

Por otra parte, para el hormigón que posee una alta relación de Telgopor incorporado, en cambio, las variaciones sí fueron significativamente mayores, deduciendo que con la incorporación de este tipo de desechos en esta proporción son alteradas marcadamente sus propiedades de resistencia y elasticidad. Adicionalmente se verifica que el aumento de la relación agua/cemento disminuye la resistencia mecánica y que el reemplazo parcial de cemento por cal hidráulica disminuye el módulo de elasticidad del material resultante.

Resultados obtenidos en los ensayos de compresión para las mezclas que adicionan restos de botellas de PET en escamas, restos de etiquetas de PP cortado y aserrín fino exponen una disminución de alrededor del 40% en su resistencia, siendo el tipo de rotura del hormigón resultante no tan típico como el del convencional, aunque

siguiendo el mismo patrón; excepto en el caso de la incorporación de aserrín, para el cual la falta de homogeneidad provoca desviaciones de las típicas fracturas y desmenuzamiento del material en el momento de su ruptura.

El cálculo de la resistencia específica de cada material permitió relacionar propiedades de resistencia mecánica y densidad, y comprueba la idea inicial de que mediante la incorporación de desechos urbanos al hormigón se logra una notable disminución en la densidad a expensas de una pérdida en su resistencia mecánica. Teniendo en cuenta esta última propiedad y lo previamente señalado, se puede concluir que, si bien todos los materiales obtenidos a partir de los desechos presentaron propiedades adecuadas para la fabricación de bloques de construcción económicos y livianos para ser utilizados como cerramientos externos, la mezclas óptimas resultaron al incorporar restos de PET en escamas y PS expandido totalmente fragmentado en el hormigón tradicional.

El uso de este tipo de mezcla fomenta el desarrollo sustentable mediante la reutilización de residuos para un reciclaje adecuado y produce ahorros en materias primas reemplazando agregados inertes por desechos de valor despreciable o casi nulo.

Resultados obtenidos a través del análisis económico dan ejemplo de la factibilidad de poder encontrar un método posible de llevar a cabo un emprendimiento con bloques de estos materiales redituablemente.

Si se tiene en cuenta el factor ecológico además del económico, y se realiza una ponderación procurando dar una buena importancia al primero de ellos, sin duda este proyecto no solo es viable, sino necesario de llevar a cabo para promover el desarrollo sustentable desde el ámbito académico.

CAPÍTULO 6: **TRABAJOS FUTUROS**

Se recomienda realizar, en un futuro, los siguientes trabajos:

- Continuar trabajando en la capacitación para la construcción y la producción para el autoconsumo, y la comercialización de estos bloques a modo de pequeños microemprendimientos.
- Elaborar una mayor cantidad de probetas de cada tipo de hormigón para ensayar en compresión con el objetivo de poder aplicar un análisis estadístico más completo al control de calidad de este material.
- Evaluar las propiedades de otros tipos de hormigón, en el que se reemplace simultáneamente parte de los agregados finos y parte de los gruesos partiendo de la misma dosificación.
- Evaluar la incorporación de aditivos en las mezclas, tales como fluidificantes o incorporadores de aire, con el objetivo de mejorar la calidad final del mismo aumentando su trabajabilidad, cuidando siempre la dosificación estipulada y los métodos de preparación recomendados.
- Completar los ensayos de flexión al resto de los materiales estudiados, y ensayar a compresión la totalidad de los mismos en una máquina que arroje resultados de deformación con el fin de analizar las curvas resultantes de este tipo de sollicitación.
- Evaluar y comparar otras propiedades de los mismos materiales que tengan relevancia en el momento de su utilización como cerramiento externo, como por ejemplo: aislación térmica.

CAPÍTULO 7:

ANEXOS

7.1 - Análisis económico extendido

ÍNDICE

	Página
Índice	93
1. Resumen ejecutivo.....	94
2. Antecedentes y organización del proyecto/empresa.....	95
2.1 Identificación del tipo de proyecto.....	95
2.2 Organización de la empresa.....	95
2.3 Recursos humanos	96
3. Estudio de mercado	96
3.1 Descripción del producto	96
3.2 Mercado objetivo.....	97
3.3 Oferta y Demanda.....	98
3.4 Precio	100
3.5 Canales de distribución.....	101
4. Ingeniería de producción	101
4.1 Capacidad de la planta.....	101
4.2 Proceso de producción	102
4.3 Alternativas tecnológicas y selección del proceso	103
4.4 Localización de la planta	104
4.5 Requerimientos técnicos de producción	105
5. Plan de negocios.....	109
5.1 Impacto social y ambiental	109
5.2 Análisis FODA.....	109
5.3 Matriz de estrategias.....	110
6. Evaluación económica.....	111
6.1 Inversión	111
6.2 Costo de producción.....	112
6.3 Cuadro de fuentes y uso de fondos.....	113
6.4 Rentabilidad	113
6.5 Punto de equilibrio	114
6.6 Análisis de sensibilidad	114
7 Análisis y conclusiones	116
8. Referencias.....	117

Resumen ejecutivo

Este proyecto analiza la posibilidad de fabricación y venta de un producto inexistente en el mercado en el cual se lo pretende insertar.

Ladrillos de hormigón con agregados de escamas de PET provenientes de botellas usadas, es decir que el producto utiliza material reciclado en su fabricación. Ésta última característica hace que se los nombre “ladrillos ecológicos”. Los materiales ecológicos son aquellos que modificados durante su procesamiento utilizan materias primas provenientes del reciclado de otros materiales o que sean biodegradables.

Otra característica destacable del producto es que sus propiedades mecánicas (representadas por la resistencia a la compresión) no se ven afectadas por el agregado de las escamas. Con esto se quiere decir que los bloques de hormigón que no poseen agregados de escamas de PET, tienen la misma resistencia que los que se desea producir. El beneficio de agregar las escamas de PET es que éstas reemplazan parte de los áridos tradicionales (arena y piedra partida) reduciendo el costo del ladrillo, por ser el PET más barato que la arena y la piedra partida.

Además, cabe destacar que el precio del producto es menor, aunque no demasiado, que el de sus principales competidores.

El producto fue pensado para su utilización en la construcción de viviendas, uni y plurifamiliares, en los muros, medianeras y mampostería en general, aunque no se descartan otras formas de utilización. La forma de comercialización sigue dos caminos, uno directo al público desde la planta, lo cual se hace posible por contar con una ubicación preferencial muy cercana a la de los principales corralones de la ciudad (800m de Juan B. Justo); y el segundo, venta mayorista a comercializadores secundarios.

Varios factores influyen positivamente en la posibilidad de éxito del proyecto: por un lado la demanda de ladrillos es creciente debido a la activación del sector de la construcción en la zona y por otro, la conciencia sobre la importancia del reciclado de materiales y de la ecología en general, se encuentran cada vez más asentados como valores en la mentalidad de los consumidores.

El costo unitario calculado para el producto es de 0,25 US\$ y el precio de venta es de 0.32 US\$. Para el proyecto se requiere una inversión inicial de 300.003 US\$.

Se calcula un tiempo de repago de aproximadamente 3,84 años, con una TIR de 24,37%.

2. Antecedentes y organización del proyecto/empresa

2.1 Identificación del tipo de proyecto

El presente proyecto plantea el estudio de la factibilidad de inversión de capital en la creación de una nueva empresa. Analiza la posibilidad de fabricación y venta de un producto inexistente y novedoso en el mercado en el cual se lo pretende insertar.

2.2 Organización de la empresa

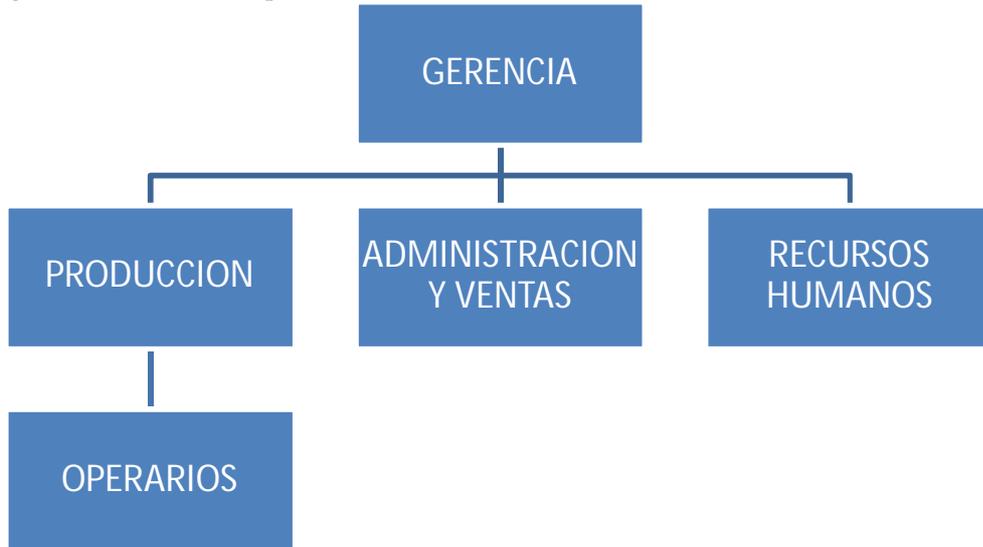


Figura 1- Organigrama de la empresa

Gerencia: La gerencia es un cargo que ocupa el director de la empresa el cual tiene dentro de sus múltiples funciones, representar a la sociedad frente a terceros y coordinar todos los recursos a través del proceso de planeamiento, organización dirección y control a fin de lograr objetivos establecidos. La gerencia tiene como objetivos:

1. Posición en el mercado
2. Innovación
3. Productividad
4. Recursos físicos y financieros
5. Rentabilidad (rendimientos de beneficios)
6. Actuación y desarrollo gerencial
7. Actuación y actitud del trabajador
8. Responsabilidad social

Producción: Este sector estará a cargo de un ingeniero que se ocupará de la supervisión de los operarios y las máquinas, así como también de brindar capacitación sobre el mantenimiento del equipamiento.

Administración y Ventas: Este sector se encargará de las ventas del producto y de la compra de las materias primas e insumos de los otros sectores.

Recursos Humanos: Se encargará de la administración del personal de la planta y de la contratación de personal.

No se contará con un Departamento de Contaduría ya que será tercerizado.

2.3 Recursos humanos

Siendo que la cantidad de empleados no es superior a diez, no consideramos necesario hacer un análisis exhaustivo en esta sección. Los operarios serán capacitados para ejercer su trabajo de manera eficiente y serán supervisados por un experto.

La capacitación es la base principal de organización, tanto por razones de seguridad como de operatividad del proceso.

3. Estudio de mercado

3.1 Descripción del producto

Se trata de bloques de material compuesto por cemento como ligante, agregados inertes finos (arena de granulometría media), agregados inertes gruesos (piedra partida) y *restos de desechos de botellas de PET*.

Estos bloques tienen las mismas dimensiones que los ladrillos comunes y podrán ser utilizados tanto como soporte estructural como para revestir exteriores con el fin de aislamiento térmico.

La construcción con bloques de hormigón presenta ventajas económicas en comparación con cualquier otro sistema constructivo tradicional. Las mismas se originan en la rapidez, exactitud y uniformidad de las medidas de los bloques, resistencia y durabilidad, desperdicio casi nulo y sobre todo, por constituir un sistema modular, lo cual permite computar los materiales en la etapa de proyecto con gran certeza.

Este producto puede utilizarse en:

- Viviendas unifamiliares y planes de viviendas.
- Edificios en altura.
- Centros comerciales.
- Edificios públicos: colegios, bibliotecas, museos y centros de salud.
- Edificios industriales: complejos fabriles, galpones y depósitos.
- Muros de sostenimiento.
- Piletas de natación y cisternas
- Barreras resistentes al fuego
- Muros portantes exteriores e interiores.
- Cerramientos de estructuras independientes.
- Tabiques divisorios.
- Vigas, dinteles y columnas.

En la Figura 2 se muestra una foto del producto terminado y una tabla con las dimensiones del mismo.

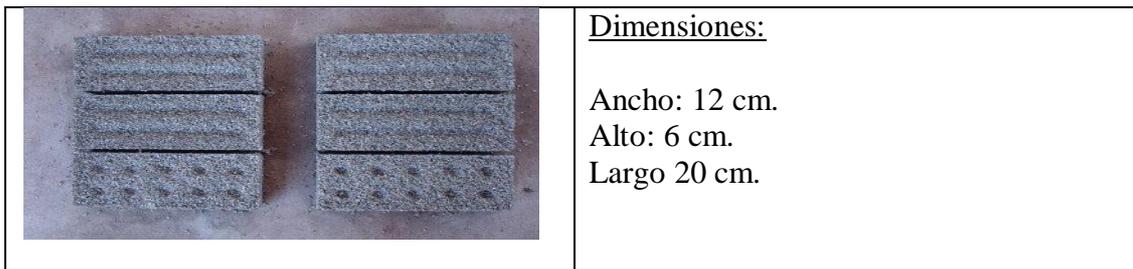


Figura 2 – Aspecto y dimensiones del producto.

Los mismos tienen similares propiedades a las de los ladrillos comunes en cuanto a resistencia a la compresión, aislamiento térmico, resistencia al medio ambiente, degradación en contacto con el exterior y resistencia a la llama; El producto se venderá de dos formas, primeramente de forma directa a los clientes ofreciendo también un servicio de transporte de la planta a su obra, y segundo a corralones y vendedores minoristas. En ninguno de los casos es necesario empaquetamiento alguno, sino que los mismos se venderán sueltos y por unidad.

3.2 Mercado objetivo

Por ser un producto de poco valor agregado y de difícil transporte (por su elevado peso), no se encuentran dentro de competencia productos importados. El bajo valor agregado se debe a que no es un producto con mucha tecnología aplicada, no se hace investigación o desarrollo del mismo, ni se lo somete a controles de calidad.

Otro factor de gran importancia es la actual reactivación del sector de la construcción, lo cual implica una creciente demanda de este producto. Según fuentes nacionales: *“La construcción es uno de los rubros que más contribuye al calentamiento de la economía argentina. Entre febrero de 2006 y febrero de 2007, los precios de los materiales de la obra subieron un promedio de 23%. [...] (BUENOS AIRES)– Según una investigación de Prensa Nueva, que comparó los precios de varios corralones en la zona norte de Buenos Aires, los precios de los materiales puestos en obra, subieron 23%. Las subas más llamativas son las que sufrieron el alquiler de volquetes y los productos como ladrillos y todos los materiales eléctricos, de acero y cobre”*.

Como lo indica la cita anterior (extraída de uno de los principales diarios de alcance nacional, Clarín), la actividad constructiva se encuentra en un desarrollo constante y creciente en los últimos años, lo cual tiene relación directa con la venta de ladrillos. Más adelante se analizará con mayor detalle cómo influye esta tendencia en la oferta y demanda de productos similares a los que se quieren producir.

Este escenario de crecimiento es el ideal para la introducción de un producto novedoso como el de este proyecto. La creciente necesidad de acopio hace que los clientes busquen productos alternativos que le ofrezcan la certeza de entrega en tiempo, resignando la seguridad que le pudieran transmitir los productos tradicionales conocidos. Como la ubicación de la empresa será en la ciudad de Mar del Plata, la venta del producto estará restringida a la ciudad y la provincia de Buenos Aires.

3.3 Oferta y Demanda

Como se dijo anteriormente el sector de la construcción se encuentra en auge y la demanda de productos para mampostería es creciente. En cuanto a la oferta se puede decir que las fábricas de ladrillos tradicionales (arcilla cocida) son siempre las mismas y mantienen un bajo nivel de inversión en tecnología, lo cual implica un menor valor agregado al producto.

La siguiente información fue extraída de la página web del INDEC, la misma es actualizada y de carácter oficial.

En la tabla 1 se muestra la evolución de los insumos representativos de la construcción. De la totalidad del cuadro se puede concluir que, como habíamos dicho anteriormente, el sector de la construcción ha crecido en el último año. Particularmente en el caso de los ladrillos se ve que la variación porcentual es positiva y mayor que el resto de las categorías incluidas (insumos).

Insumos representativos de la construcción			
Variaciones porcentuales de despachos al mercado interno y producción			
Último dato: Febrero 2007			
Insumo	Variación porcentual		
	respecto al mes anterior	respecto a igual mes del año anterior	del acumulado enero-febrero de 2007 respecto a igual período del año anterior
Asfalto	-4,5	10,8	10,4
Cemento Portland	1,1	13,6	12,8
Hierro redondo p/hormigón	-1,6	9,4	5,3
Ladrillos huecos	-11,7	11,9	24,6
Pisos y revestimientos cerámicos	-3,6	-2,5	-1,9
Pinturas para construcción	-14,2	-15,4	-12,2

Tabla 1 – Variación de despachos al mercado interno y producción de insumos representativos de la construcción.

Como se dijo anteriormente los ladrillos a producir, se usarán en obras de construcción principalmente relacionadas con viviendas y comercios, no con obras civiles como pueden ser puentes, calles, autopistas, etc. Se desea conocer con mayor profundidad este rubro de la construcción y qué importancia dentro del mismo tienen los materiales.

La siguiente tabla muestra la evolución de los gastos en las distintas categorías de una obra, como se explica más adelante el índice con que se miden dichos gastos sólo incluye datos del gran Buenos Aires, pero siendo este sector de gran diversidad y número, se lo puede considerar representativo de todo el país. Una falencia de considerar este índice como único dato, vendría asociada al hecho de que el mismo sólo usa datos provenientes de la construcción de edificios, con lo cual se deja afuera el otro componente más importante de la demanda, la construcción de viviendas unifamiliares. De todos modos los datos siguientes se muestran para apoyar las ideas que se vienen explicando en conjunto con los datos mostrados anteriormente y no como un indicador absoluto.

Nivel general y capítulos. Promedio anual desde 1996 en adelante

Año	Nivel general	Capítulo		
		Materiales	Mano de obra	Gastos generales
1996	100,1	102,2	98,1	99,1
1997	98,6	101,8	95,6	97,8
1998	98,7	101,3	96,0	98,6
1999	98,9	100,5	97,1	99,8
2000	97,1	99,2	94,7	98,5
2001	96,0	97,5	94,1	97,5
2002	121,5	146,7	97,9	111,4
2003	139,9	169,2	112,1	129,7
2004	159,7	190,3	132,1	142,0
2005	183,8	211,2	159,7	164,4
2006*	220,7	241,7	205,6	187,1

¹ Síntesis metodológica

El Índice del Costo de la Construcción en el Gran Buenos Aires (ICC), base 1993=100, mide las variaciones que experimenta el costo de la construcción privada de edificios destinados a vivienda, en la Ciudad de Buenos Aires y 24 partidos del conurbano bonaerense.

Tabla 2 – Evolución temporal de los gastos promedio en una obra.

Se puede observar que los materiales constituyen una importante proporción en los gastos promedio. Por lo tanto, esta categoría posee una gran influencia en el costo final de la obra. Esta información vuelve a reafirmar la relación entre el crecimiento del sector constructivo y la demanda de ladrillos. Se incluye a continuación una síntesis de las variaciones en la cantidad demandada de los grupos de materiales constructivos.

Principales variaciones por Grupos de materiales

Mayores aumentos				
Marzo 2007*/Febrero 2007*		%	Marzo 2007*/Diciembre 2006*	%
Productos de cobre, plomo y estaño	4,3		Ladrillos y otros productos cerámicos	7,8
Ladrillos y otros productos cerámicos	4,1		Cemento, cal y yeso	7,4
Cemento, cal y yeso	3,5		Áridos (arena, piedras y tosca)	6,1
Caños y accesorios de hierro	3,3		Productos de cobre, plomo y estaño	6,1
Productos de hormigón y cemento	2,8		Productos de hormigón y cemento	5,5
Áridos (arena, piedras y tosca)	2,5		Vidrios	4,8
Vidrios	1,8		Piezas de carpintería	4,3
Aparatos de control eléctrico (tableros, interruptores y tomas)	1,2		Caños y accesorios de hierro	3,3
Marzo 2007*/Diciembre 2001		%		
Productos de cobre, plomo y estaño	453,4			
Cables y conductores de media y baja tensión	424,8			
Hierro para la construcción	318,9			
Griferías y llaves de paso	228,8			
Productos metálicos para instalación sanitaria y eléctrica	224,8			
Áridos (arena, piedras y tosca)	215,0			
Caños y accesorios de hierro	208,3			
Electrobombas	202,6			

Tabla 3 – Principales variaciones en la demanda de distintos grupos de materiales.

De las tablas anteriores (Tabla 2 y 3) se quiere destacar que el grupo de materiales que incluye los ladrillos se encuentra entre los de mayor aumento en los períodos más recientes (Marzo 2007 – Febrero 2007 y Marzo 2007 – Diciembre 2006). Siendo poco representativos de la situación actual del mercado los datos correspondientes al período Marzo 2007- Diciembre 2001, no sólo por ser un período de tiempo muy grande sino porque en el mismo los cambios de la situación económica del país fueron enormes (devaluación de la moneda, inflación).

Por último, otro factor influyente en el éxito del producto es que el mercado actual posee mayor conciencia ecológica y comprende la importancia de la utilización de material reciclado.

3.4 Precio

Actualmente no existen en el país empresas que se dediquen a la venta de productos de este tipo.

No obstante esto, es de esperar la competencia de los ladrillos convencionales.

En la siguiente tabla, se comparan muros de bloques de hormigón (en diferentes modelos) con otros de espesor equivalente utilizando mampostería de bloque cerámico, de ladrillo común y ladrillo visto. A pesar de que los datos no están actualizados, son útiles para realizar una comparación entre los distintos productos que compiten con el nuestro.

Cuadro comparativo de costos entre mamposterías tradicionales y mampostería de bloques de hormigón.														
Mortero de Asiento y Revoques con cemento y cal viva - Coef. de Aportes de Costo de Obra														
No.	Tipo de mampostería	Ancho muro (cm)	Medidas (cm)	Mampostería sin revoque						Revoques				Costo Total Mampostería (\$/m ²)
				Mampuestos			Mortero asiento (\$/m ²)	Mano de Obra (\$/m ²)	Mamp. s/rev. (\$/m ²)	Material y Mano de Obra			Costo revoque por m ²	
				Elem. (unid./m ²)	Costo (\$/un.)	Total (\$/m ²)				Fino (\$2,89)	Gr.yF. Int. (\$6,10)	Gr.yF. Ext. (\$9,84)		
1	Bloques de Hormigón. (s/ revoque)	20	19x19x39	12,5	0,90	11,25	1,15	6,34	18,74	0,00	0,00	0,00	0,00	18,74
2	Bloques de Hormigón. (1 cara rev.)	20	19x19x39	12,5	0,90	11,25	1,15	6,34	18,74	1,00	0,00	0,00	2,89	21,63
3	Bloques de Hormigón. (2 caras rev.)	20	19x19x39	12,5	0,90	11,25	1,15	6,34	18,74	1,00	1,00	0,00	9,00	27,73
4	Ladrillo cerámico (2 caras rev)	20	18x19x33	17	0,93	15,81	1,45	4,59	21,85	0,00	1,00	1,00	15,94	37,79
5	Ladrillo común (2 caras rev)	30	05x11x23	110	0,18	19,80	3,61	7,99	31,39	0,00	1,00	1,00	15,94	47,33
6	Ladrillo visto (1 cara rev)	30	05x11x23	110	0,22	24,20	8,22	9,95	42,36	0,00	1,00	0,00	6,10	48,47

Coeficientes de Aportes obtenidos de la Revista Costo de Obra.
Precios correspondientes a valores de mercado en la Ciudad de Cba en el mes de Agosto de 2002.

Tabla 4 – Comparativa de costos entre mamposterías tradicionales y de bloques de hormigón.

De la tabla N° 4 se puede ver que los bloques de hormigón son menos costosos, además ofrecen mejores propiedades mecánicas (mayor resistencia en compresión). A pesar de estas dos importantes ventajas, los ladrillos cerámicos tradicionales se benefician por ser estéticamente más agradables y poder usarse sin revoque.

En la figura N° 3 se muestran los datos de la tabla anterior expuestos de una forma más esquemática y simple para la observación.

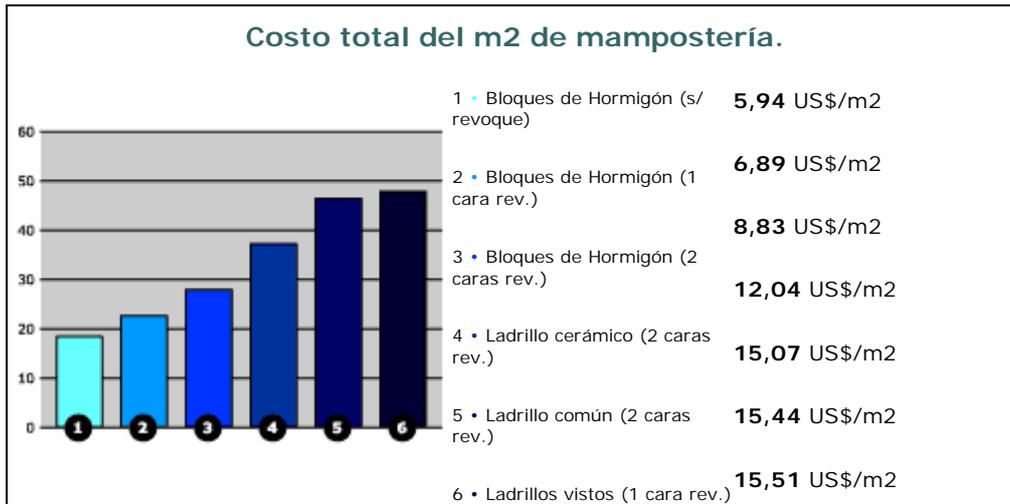


Figura 3 – Comparativa de costo de mampostería por m² usando distintos ladrillos.

Además de utilizar fuentes electrónicas se recurrió a visitar el puesto de venta de uno de los principales productores de ladrillos de la ciudad de Mar del Plata, Juan Manuel Landa S.A. (Champagnat 1717), dentro de los productos disponibles para la venta el que competiría con nuestro producto es el ladrillo macizo de 5x11x23 cm., el cual tiene un precio mayorista de 0,45 US\$/u. Por otro lado, de la misma fuente se obtuvo el dato de que los ladrillos portantes de 12x19x33 cm. tienen un precio de 0,55 US\$/u.

Según los datos recopilados se puede estimar que el precio por unidad de nuestro producto será 0,32 US\$/u aproximadamente. Lo cual lo ubica por debajo del precio del resto de los ladrillos competidores.

3.5 Canales de distribución

La venta del producto será tercerizada, la planta no será un centro de venta al público sino que será vendido a corralones, estando a cargo de estos el transporte de los ladrillos. De esta manera será más eficaz la distribución y difusión del producto al consumidor final. Por otro lado al ser un material de construcción novedoso, los centros de venta pueden también promocionar la eficiencia de estos ladrillos.

4. Ingeniería de producción

4.1 Capacidad de la planta

Teniendo en cuenta los datos del mercado, se estima que en un principio la demanda del producto será baja, ya que es un producto poco conocido. Sin embargo se espera que vaya ganando participación en el mercado rápidamente, debido a su bajo costo y a la creciente demanda de productos de este sector y de características ecológicas.

La tabla N° 5 muestra ejemplos de las capacidades de producción de olerías (fábrica de ladrillos por métodos tradicionales) de distinto tamaño:

Ingreso neto mes actual venta a Particulares						
Olería	Particular					
	Cantidad de ladrillos mes actual	Costo de producción media (p/ 1000 ladrillos)	Costo de producción mes actual	Valor de venta del mes actual	Costo de producción mes actual	Ingreso neto
Grande	50.000	\$54.5	\$2700	\$5125	\$2700	2425
Medianas	15.000	\$41.50	\$622.5	\$1200	\$622.5	577.5
Chicas	7000	\$32.50	\$227.50	\$525	\$227.50	297.5

Tabla 5 – Comparación entre distintos tamaños de olerías tradicionales.

Dado que el producto sería el único de su tipo presente en el mercado, la producción debe ser grande para poder satisfacer la demanda de todos los consumidores que se decidieran por este tipo de producto.

Según datos suministrados personalmente por un representante de la cámara de construcción, en la zona de influencia de la empresa (Mar del Plata y alrededores) se construyen alrededor de 150 viviendas al mes, de alrededor de 150 m². Teniendo en cuenta que se necesitan 30 ladrillos por m² de construcción, el total de ladrillos demandados alcanza un total de 675 000 unidades por mes. En base a estos datos y con el objetivo de cubrir un 10% de la demanda total de ladrillos, la producción total de la planta será de 67500 ladrillos por mes.

4.2 Proceso de producción

La planta es simple, sólo consta de tres máquinas principales (una procesadora de la que se obtienen las escamas de PET a partir de las botellas usadas, una mezcladora y una conformadora) y una zona de almacenamiento en la cual se terminan de endurecer los bloques.

La simplicidad del proceso y la ausencia de condiciones de trabajo peligrosas, no debe hacer que se pierda cuidado en la higiene y seguridad de la planta, las cuales son imprescindibles en las empresas actuales.

En la figura 4 se describe detalladamente el proceso y a continuación se describen las etapas:

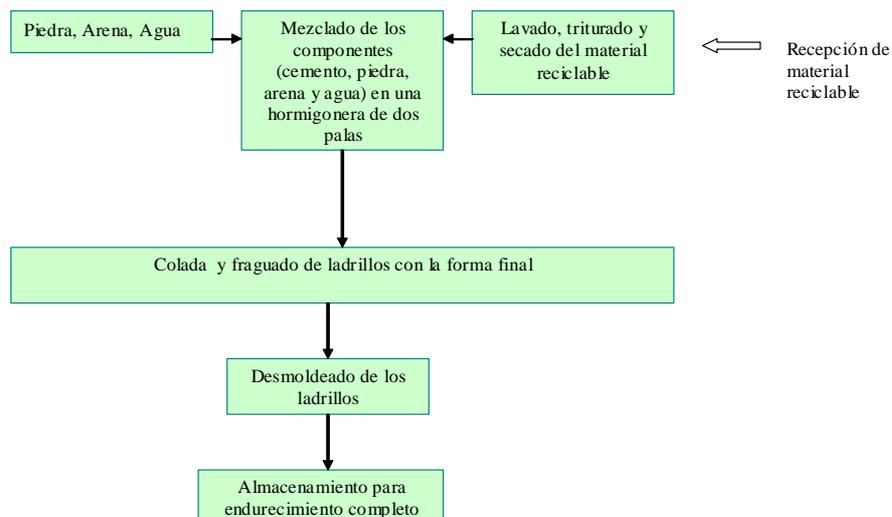


Figura 4 – Diagrama de flujo del proceso.

Lavado, triturado y secado del material:

En esta etapa las botellas son trituradas a fin de obtener partículas con el tamaño adecuado para ser agregadas a la mezcla de cemento. En primera instancia las botellas se lavan, para descartar cualquier tipo de impureza presente en las mismas. Luego se trituran y se secan con el equipo detallado en la *sección 4.5*.

Mezclado:

Mediante una mezcladora se mezclan los componentes presentes en los ladrillos:

- Cemento
- PET
- Piedra partida
- Arena de baja granulometría
- Agua

Colado:

En esta etapa la mezcla se vierte en un molde con las dimensiones deseadas, y se deja fraguar por 24 h dentro del mismo, para que no se pierda la forma.

Desmoldado y almacenamiento:

Luego de desmoldarse los ladrillos se dejan reposar un mes al reparo de cualquier inclemencia climática y posibles precipitaciones, a fin de obtener la máxima resistencia posible. Antes de este período los ladrillos no pueden utilizarse.

4.3 Alternativas tecnológicas y selección del proceso

Para poder desarrollar este proyecto se analizaron diferentes alternativas tecnológicas. Debido que no existen diferentes posibilidades de procesamiento para este tipo de producto, las principales alternativas se basan en la obtención de la materia prima.

Por un lado se analizó la compra de la totalidad de los materiales por separado a granel, incluyendo el PET en escamas (flakes), el ligante (cemento) y los agregados inertes: gruesos (piedra partida) y finos (arena de baja granulometría).

Por otro lado se analizó la compra de algunos materiales y el procesamiento y producción de otros mediante diferentes maquinarias.

Por último, teniendo en cuenta los costos de las maquinarias y estimando las diferentes inversiones, se decidió que la opción más adecuada sería la compra de todos los materiales excepto la del PET en escamas, el cual será producido de manera autónoma en nuestra propia planta mediante un moderno sistema que a partir de las botellas realiza un trabajo automático de molienda, lavado químico, secado, triturado y granceado de las mismas.

Para un proceso adecuado y que no exista segregación, se debe mezclar la materia prima mediante un equipamiento especial detallado en profundidad mas adelante; luego mediante colado y desmoldeo se obtiene el producto en su forma original, el cual debe permanecer almacenado durante un periodo de aproximadamente un mes para que complete su etapa de endurecimiento y adquiera la resistencia mecánica necesaria para su utilización.

4.4 Localización de la planta

La planta se ubicará en República de Cuba y Hernandarias, lo cual pertenece a lo que la Municipalidad considera como zona E3.

Se cuenta con todos los servicios: red de agua corriente, cloacas, gas natural y desagües pluviales. Zona Industrial E3- Ubicada en las cercanías del Estadio Mundialista y la estación de cargas del ferrocarril y a 800 m de la Av. Juan B. Justo; lo cual permite minimizar los costos de transporte de las materias primas hacia la planta. Esta se realiza por vía férrea y vía terrestre, las materias provienen de Olavarría (cemento), de las canteras locales (piedras), de corralones vecinos (arena) y de cartoneros locales (botellas de P.E.T) y el transporte del producto vía terrestre a los centros de comercialización (como se menciona anteriormente este estará a cargo de los clientes), los cuales se ubican en mayor parte sobre la avenida Champagnat.

Es una zona nueva sin restricciones a las actividades se puede desarrollar todo tipo de actividades comerciales y económicas.

En la figura 5 se muestra una imagen satelital que muestra las vías de acceso desde y hacia la planta.

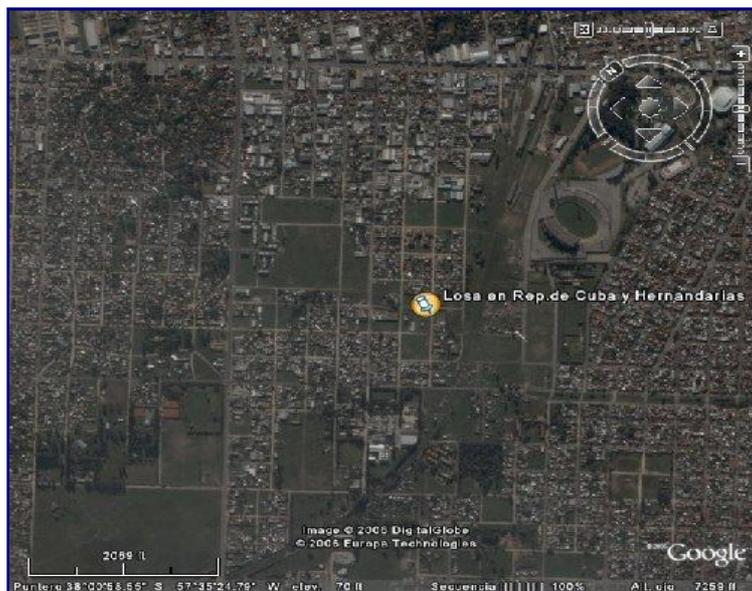


Figura 5 – Imagen satelital de la ubicación de la planta.

Superficie edificada de la planta:

En el terreno seleccionado se encuentra una losa a medio construir, la cual no podrá ser utilizada, ya que no concuerda con las dimensiones de la nueva construcción.

La superficie edificada de la planta para fabricar y almacenar este tipo de producto se estima que sea de 400 m², ya que teniendo en cuenta las dimensiones de las maquinarias, se estima que sean necesarios unos 100 m² para la instalación de las mismas; y teniendo en cuenta la capacidad estimada de producción y el tiempo de endurecimiento, se necesitarían unos 200 m² para el almacenamiento de los ladrillos.

A.5/ Túnel ultravioleta para detectar eventuales botellas de PVC.

A.6/ Una cinta transportadora a tromel, de 6500 mm. de longitud, ancho 1000 mm.

A.7/ Un tromel para el prelavado de las botellas

Longitud: 5000 mm.

Diámetro: 1500 mm.

Motor reductor de 7,5 kW.

Con tolva de recogida de agua y lodos, con vía sinfín de extracción con motor de 1,5 kW.

A.8/ Una cinta transportadora a molino, de 5500 mm. de longitud, ancho 1000 mm.

A.9/ Un sistema de molienda y lavado compuesto por dos molinos, marca EUROTECNO, modelo MGV2-120653, con motor principal de 110 kW., con sistema de lavado, con transporte del material triturado por vía sinfín a centrífuga con ciclón.

A.10/ 3 Centrífugas, con motor de 29 kW. cada una, con ventilador extractor de 4 kW. y ciclón de descarga, para la extracción de restos de materiales de etiquetas, completas de sistema de limpieza con cepillos de actuación neumática y agua a presión.

1 Centrífuga final con ventilador extractor, con motor de 30 kW., para el secado del material, con una bandeja recogedora de agua y lodos, dotada de un sistema de limpieza por pistón neumático.

A.11/ Un grupo detector y extractor de metales.

A.12/ Una balsa para separar el PET del PE, PP y otros materiales de menor densidad que el agua.

Dimensiones: 6000 x 2000 x 2300 mm.

En el fondo monta un extractor accionado por un motorreductor de 0,75 kW. y un transporte por vía sinfín de 0,75 kW. al sistema de lavado en caliente.

También monta tres sistemas de paletas accionadas por dos motorreductores de 0,36 kW. cada uno y un extractor de material flotante con motorreductor de 0,36 kW.

A.13/ Un sistema de lavado en caliente con dos grupos adicionadores de productos químicos (según necesidades) dotados de:

-Un agitador de 4 kW.

-Un sistema de transporte por vía sinfín hasta el turbowash.

-Dos depósitos de 15 litros cada uno, con dosificador automático regulable.

A.14/ Un sistema TURBO WASH®, de limpieza por fricción a altas revoluciones, para terminar el lavado completo de las escamas de PET. Con motor de 55 kW.

A.15/ Una balsa para enjuagar y terminar de separar los restos que pueda haber de PE y PP.

Dimensiones: 4500 mm. x 1700 mm. x 2300 mm.

En el fondo monta un extractor accionado por un motorreductor de 0,75 kW. y un transporte por vía sinfín, accionado por un motor de 0,75 kW., a la centrífuga final.

También monta dos sistemas de paletas accionadas por dos moto reductores de 0,36 kW. cada uno y un extractor de material flotante con motorreductor de 0,36 kW.

A.16/ Un sistema de doble de ciclón y soporte para big-bag, con válvula desviadora tipo pantalón.

A.17/ Dos equipos de filtrado, con mallas de inoxidable de 190 micras, compacto. Capacidad 5000-7000 litros/hora. Motorizaciones de 4 C.V.

Dos equipos de compactación. Motorizaciones de 4 C.V. Montados en sincronismo con los grupos de filtrado

4 Bombas especiales para aguas con sólidos y barros de 1,5 C.V.

1 Agitador de 2 C.V.

1 Cuadro eléctrico de mando de todo el grupo

4 depositos en acero inox ~ 2000 x 2000 mm.

A.18/ Un cuadro eléctrico de mando y control de todo el equipo.

A.19/ Un grupo separador de papel, doble con ventilador extractor de 4 cv. y ciclón de descarga con soporte de big-bag. Ventilador de transporte de 7,5 cv .

Proceso de conformado de ladrillos

Los precios de las maquinas fueron suministrados por Poyatos S.A., vía correo electrónico. Los mismos incluyen la instalación.

1. Mezcladoras:

	Características:			
	<p>SERIE MF La cuba de la mezcladora va totalmente revestida en el fondo y los laterales con placas especiales de chapa de acero antiabrasivo atornillables y recambiables. Los brazos de las palas van montados de forma articulada y amortiguados mediante silemblock de goma dura, son autoajustables y recambiables, fácilmente accesibles y protegidos totalmete contra el polvo. Las poleas son de fundición NI-HARD antiabrasiva. La compuerta de descarga circular en el fondo, construida totalmente en acero electrosoldado, mecanizada y montada sobre rodamientos lo que permite accionamiento suave y con poco esfuerzo. El accionamiento puede ser manual y automático, mediante sistema neumático o hidráulico. Pudiendo llevar de una a tres compuertas de descarga. La mezcladora va totalmente carenada con una tapadera desmontable provista de una trampilla de registro. El motor se encuentra totalmente accesible en el exterior de la mezcladora.</p>			
<p>SERIE MH MEZCLADORAS DE EJE HORIZONTAL, están formadas por una cubeta de mezclado cilíndrica, equipada con dos brazos batidores en forma de espiral, con palas de fundición NI-HARD, con fondo y laterales antidesgastables recambiables, anillos de limpieza y rascadores laterales.</p>				
	MODELO	Capacidad de Carga en litros	Producción por amasada m³	Potencia del Skip
	MF-500	500	0.35	25cv
	MF-750	750	0.5	30cv
	MF-1125	1.125	0,75	40cv
	MF-1500	1.500	1,0	50cv
	MF-1875	1.875	1,25	60cv
	MF-2250	2.250	1,5	75cv
	MF-3000	3.000	2,0	100cv

Figura 7- Información técnica de la mezcladora

2. Conformadora :

	Tiempo del ciclo: 18-25 seg.		
	Medida bandeja: 1.080x560 mm 1.080x660 mm		
	Máxima producción por hora:		
		1.080x560 mm	1.080x660 mm
	bloques (20.40.20)	666	666
Adoquines (20.10.8)	2394	2660	
	Potencia total instalada: 18,4 kW / 25 CV		
	Altura de fabricación: Max.: 250 mm Min.: 50 mm		
Instalación:			
<ul style="list-style-type: none"> Extracción de bandejas mediante carritos Opcional equipo para trabajar con dos hormigones, doble capa. 			
Instalación de hormigonado:			
<ul style="list-style-type: none"> Dosificación volumétrica o por peso de áridos. Mezcladora MF-500 TURBO. 			
Potencia planta de hormigón:		18,4 kW / 24,5 CV	
Número de operarios:		4	
Otros datos:			
<ul style="list-style-type: none"> Superficie para la prensa: 250 m² Superficie planta de hormigón: 225 m² Superficie para secados: 525 m² Superficie para acopio: ~ 650 m² 			
PRIMA			

Figura 8- Información técnica de la conformadora

Cálculo de los requerimientos necesarios por unidad de producto

La proporción de materias primas en volumen de componentes en el ladrillo en verde se calcula en base a una parte de cemento:

- 2 partes de escamas de PET
- 3 partes de arena
- 1 parte de piedra molida
- 0,65 partes de agua

En base a esta proporción, la densidad del producto y su volumen, se puede calcular la cantidad de materia prima necesaria por unidad (Ver Tabla 6).

Volumen unitario = $10 \times 20 \times 8 = 1600 \text{ cm}^3$ Densidad = 1.7 gr/cm^3

Materia prima	Porcentaje en vol	Masa (kg)
cemento	0,13125	0,567
piedra	0,13125	0,4914
agua	0,0875	0,130
PET	0,2625	0,016632
Arena	0,39375	1,3041

Tabla 6- Cantidad de materias primas por ladrillo

La cantidad de mano de obra se calculó en base a las especificaciones de la maquinaria utilizada.

Los servicios fueron calculados respecto a las especificaciones técnicas de las maquinas, el consumo total de energía eléctrica es de 46632 kWh anuales, el consumo de agua es 2503 m^3 anuales (ver figura 6 y figura 7).

Teniendo en cuenta la capacidad de la planta (67.500 unidades por mes) la producción diaria debería ser de 3.375 ladrillos, según las características de la conformadora (ver figura 12) se observa que la producción puede ser alcanzada en aproximadamente una hora y media, la capacidad de producción de la maquina es mayor a la necesaria, lo que implica que si aumenta la demanda del producto al doble, por ejemplo, con esta maquina se va a poder cubrir. El modelo a utilizar de mezcladora es el MF-500.

5. Plan de negocios

5.1 Impacto social y ambiental

Una ventaja de *extrema importancia* es la reutilización de desechos, lo cual sirve para preservar el medio ambiente y reducir el impacto social que acarrea la acumulación , y el bajo costo que resulta de la utilización de este tipo de desechos que se encuentran en abundancia en cada basurero de las ciudades pobladas de nuestro país.

5.2 Análisis FODA

En la Figura 9 podemos observar el análisis FODA de nuestro producto

<p>Fortalezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ F1 Utilización de residuos. ➤ F2 Se requiere poca mano de obra. ➤ F3 Se trata de un producto innovador. ➤ F4 Posee un bajo costo en relación a productos de similares características. ➤ F5 Proceso simple. 	<p>Debilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ D1 Se requiere un alto tiempo de almacenamiento para completar la etapa de endurecimiento del producto. ➤ D2 El arreglo de la maquinaria, en caso de existir algún deterioro, requiere de personal técnico altamente especializado no disponible en la ciudad.
--	---

<p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ O1 El sector de la construcción está en crecimiento. ➤ O2 No hay competencia que fabrique el mismo producto. 	<p>Amenazas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ A1 El producto no se encuentra actualmente estandarizado en nuestro país. ➤ A2 Posible aumento del precio del PET reciclado debido a la utilización en otro tipo de productos.
--	---

Figura 9- Análisis FODA

5.3 Matriz de estrategias

	Productos actuales	Productos nuevos ➤ Ladrillos ecológicos
Mercados actuales	-----	-----
Mercados Nuevos	-----	La estrategia para penetrar en el mercado se basara en la publicidad del producto haciendo notar fuertemente el bajo costo con respecto a otro tipo de ladrillos y que es un producto ecológico.

Figura 10- Matriz de estrategia

	<p>Fortalezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ F1 Utilización de residuos. ➤ F2 Se requiere poca mano de obra. ➤ F3 Se trata de un producto innovador. ➤ F4 Posee un bajo costo en relación a productos de similares características. ➤ F5 Proceso simple. 	<p>Debilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ D1 Se requiere un alto tiempo de almacenamiento para completar la etapa de endurecimiento del producto. ➤ D2 El arreglo de la maquinaria, en caso de existir algún deterioro, requiere de personal técnico altamente especializado no disponible en la ciudad.
<p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ O1 El sector de la construcción está en crecimiento. ➤ O2 No hay competencia que fabrique el mismo producto. 	<p>Estrategia FO (F1, O1) Aprovechar el exceso de residuos disponibles y volcarlos al sector de la construcción. (F3, F4, O1, O2) Campaña de marketing para acaparar el mercado.</p>	<p>Estrategia DO (D1, O1) Desarrollar un plan de ampliación de la capacidad de producción.</p>
Amenazas:	Estrategia FA	Estrategia DA

<ul style="list-style-type: none"> ➤ A1 El producto no se encuentra actualmente estandarizado en nuestro país. ➤ A2 Posible aumento del precio del PET reciclado debido a la utilización en otro tipo de productos. 	<p>(F1, A2) Búsqueda de mercados alternativos de materias primas.</p>	<p>(D1,A1) Estandarizar el método de procesamiento para aprovechar al máximo el tiempo de fabricación. (D2,A1) Capacitación propia a los empleados para especializarlos en el manejo de las maquinarias.</p>
---	---	--

Figura 11- Matriz FODA

6. Evaluación económica

6.1 Inversión

Para realizar el cálculo de la inversión fija se tuvieron en cuenta los precios de los equipos analizados anteriormente (estos precios están actualizados para este año) y se aplicó el método de "Cálculo de Inversiones por factores" (Rudd y Watson, 1968). Los precios de los equipos son:

- Precio y armado de la planta de reciclado (instalada): **56.798 US\$**
- Precio de la mezcladora MF-500 (instalada) más la conformadora PRIMA: **30.000 US\$**

Costo del terreno:

Para conocer el costo del terreno fueron analizadas diferentes opciones de las características mencionadas en el punto anterior en diferentes sitios de internet. La opción mas adecuada es la de la losa ubicada en República de Cuba y Hernandarias:

Valor del terreno: **11.600 US\$**

El costo de construcción por m², teniendo en cuenta todos los gastos de materiales, mano de obra, dirección de la obra, presentación de planos y proyectos, instalaciones eléctricas, gas, agua, etc se estima que sea del orden de 100 US\$/m².

De esta manera:

$$\mathbf{IE = 56.798\ US\$ + 30.000\ US\$ = 86.798\ US\$}$$

Coste del equipo de proceso instalado:

Factores experimentales como fracción de IE:

Tuberías de proceso: Proceso mixto: f1=0.2

Instrumentación: Control parcialmente automatizado: f2=0.075

Edificios de fabricación: Cálculo independiente: 400 m² . 100 US\$/m² = 40.000US\$

Plantas de servicios: Todos los servicios disponibles: f4=0

Conexiones entre unidades: Entre las unidades de servicios: $f_5=0.025$

Coste físico total (CFT) = IE (1 + 0.2 + 0.075 + 0.025) + 40.000 US\$ = 152.837 US\$

Factores experimentales como fracción del coste físico:

Ingeniería y construcción: Ingeniería inmediata: $ff_1=0.275$

Factores de tamaño: Unidad comercial pequeña: $ff_2=0.1$

Contingencias: De la compañía: $ff_3=0.15$

Factor de costes indirectos: $F_1 = 1 + 0.275 + 0.1 + 0.15 = 1.525$

Coste total de la planta (CT) (sin terreno) = CFT . $F_1 = 233.076$ US\$

IF = CT + Terreno = 327.886 US\$ + 11.600 US\$ = 244.676 US\$

IF (Inversión fija) = 244.676 US\$

6.2 Costo de producción

Dada la ubicación de la planta, se cuenta con servicios de electricidad, agua potable y gas natural. En cuanto a las materias primas la disponibilidad es elevada, por la misma razón, la materia prima puede ser adquirida a granel.

En la tabla 7 se muestran los costos de producción. A continuación se hace un estudio más detallado de algunos puntos.

Materias primas:

Para el cálculo de las materias primas se utilizaron los porcentajes en volumen de cada componente y su respectiva densidad aparente con el costo por tonelada de cada uno. Los valores se detallan en la tabla 6.

Materia prima	Porcentaje en vol	costo (US\$/ladrillo)	costo (US\$/año)
cemento	0,13125	0,054694534	44302,57235
pedra	0,13125	0,000802186	649,7710611
PET	0,2625	0,003828617	3101,180064
Arena	0,39375	0,008021865	6497,710611
TOTAL		0,067347203	54551,23408

Tabla 6-Costo de materias primas

Mano de obra:

La mano de obra se estimó según la cantidad de operarios que figuraba en los catálogos técnicos de la maquinaria. Esto dio un total de 10 operarios necesarios más 1 supervisor. El valor de mano de obra (incluidas las cargas sociales) para los operarios es de 3 US\$/Hh y de 5 US\$/Hh para el supervisor.

La planta opera 8 horas por día, 20 días al mes.

Servicios:

Los costos son de 0,026 US\$/kWh y 0,15 US\$/m³ de agua.

Costos variables	(US\$/año)	Costos Fijos	(US\$/año)
Costo de materias primas	54551,23	Depreciacion	24472,48
Envases	0,00	Impuestos	3670,14
Mano de obra	67200,00	seguros	1835,07
Supervisión	6720,00	Financiación	0,00
Cargas sociales	incluidas en MO	Ventas y distribución	7776,00
Servicios	1665,82	Administración y dirección	13440,00
Mantenimiento	14680,56	I&D	0,00
Suministros	1835,07	TOTAL	51193,69
Laboratorio	1536,00		
Patentes y Regalías	0,00		
TOTAL	148188,69	COSTO TOTAL	199382,37 US\$/año

Tabla 7- Costos de Producción

6.3 Cuadro de fuentes y uso de fondos

Para la realización del cuadro se utilizaron los siguiente parámetros:

- Para calcular el capital de trabajo se tomo el costo de producción sin depreciación de tres meses de producción.
- La inversión total fue calculada como la suma de la inversión fija más el capital de trabajo.
- El total de las ventas del ejercicio fue tomado como la venta total de la producción de la planta en un año de operación.

A continuación en la tabla 8 se detallan los valores obtenidos.

I _F	244.676 US\$
I _w	28780 US\$
I _T	273.456 US\$
V.T	259.200 US\$

Tabla 8- Valores obtenidos

6.4 Rentabilidad

Para el calculo de tiempo de repago se utilizó el método gráfico (ver tabla 9 y figura 13).

Año	Flujo de caja acumulado
0	-300003,474
1	-214943,27
2	-137423,06
3	-59902,85
4	17617,36
5	95137,56
6	172657,77
7	250177,98
8	327698,19
9	405218,39
10	482738,60

Tabla 9- Flujo de caja acumulado

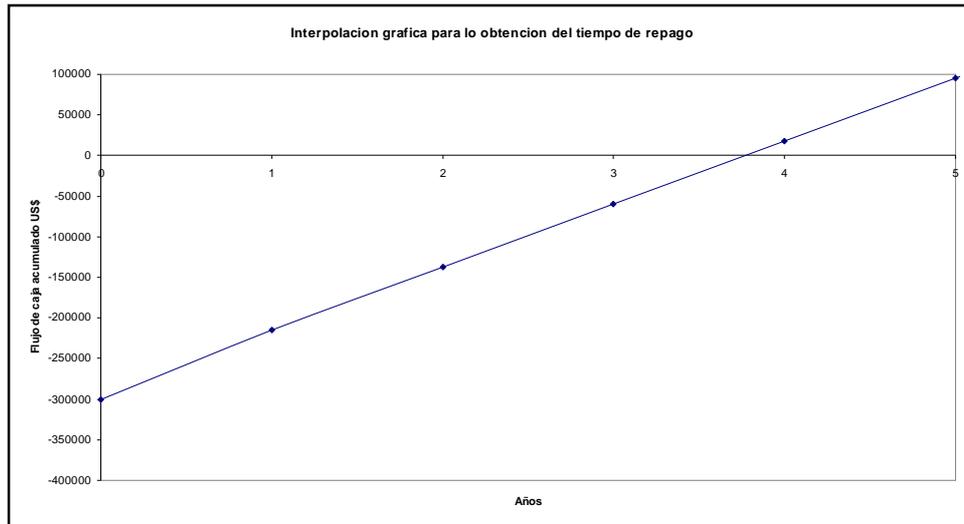


Figura 13- Interpolación grafica para lo obtención del tiempo de repago.

De la figura 13 se puede ver que la intersección se da a los 3,84 años. El valor del TIR es 0,2437 (24,37%). La cual fue calculada con la función TIR del programa Microsoft Excel y corroborada por el método numérico de resolución ecuaciones por medio de ecuaciones no lineales en una calculadora programable.

6.5 Punto de equilibrio (como porcentaje de utilización de la capacidad instalada)

En el punto de equilibrio se cumple que BNAI es igual a cero.

$$BNAI = N(V - C_v) - C_f$$

Donde:

C_v Costos variable por unidad N cantidad de unidades vendidas en un año

C_f Costos fijos totales incluida la depreciación V precio de venta por unidad

$$0 = N(0,32 - 0,18) - 51193,69 \rightarrow N = 373537 \text{ Ladrillos/años}$$

Por año la producción estimada de ladrillos es de 810.000 entonces el valor de equilibrio es de $N_{eq} = 373537$. Con lo que representa un 46 % de la capacidad total de la venta estimada.

6.6 Análisis de sensibilidad

Realizando una variación en los costos de la materia prima y precio de ventas vemos como se modifican los valores de TIR del proyecto de inversión. En la tabla 10 se muestran los valores utilizados para obtener el gráfico de la figura 14. Podemos observar que el factor que más influye sobre la TIR es el precio de venta.

Precio de Venta			Costo de Materias Primas		
Precio (US\$)	TIR %	TIR rel	Costo (US\$)	TIR %	TIR rel
0,384	36,26	1,49	65461,48	21,46	0,88
0,32	24,37	1	54551,23	24,37	1
0,256	11,55	0,47	43640,99	27,29	1,12

Tabla 10- Valores calculados de sensibilidad

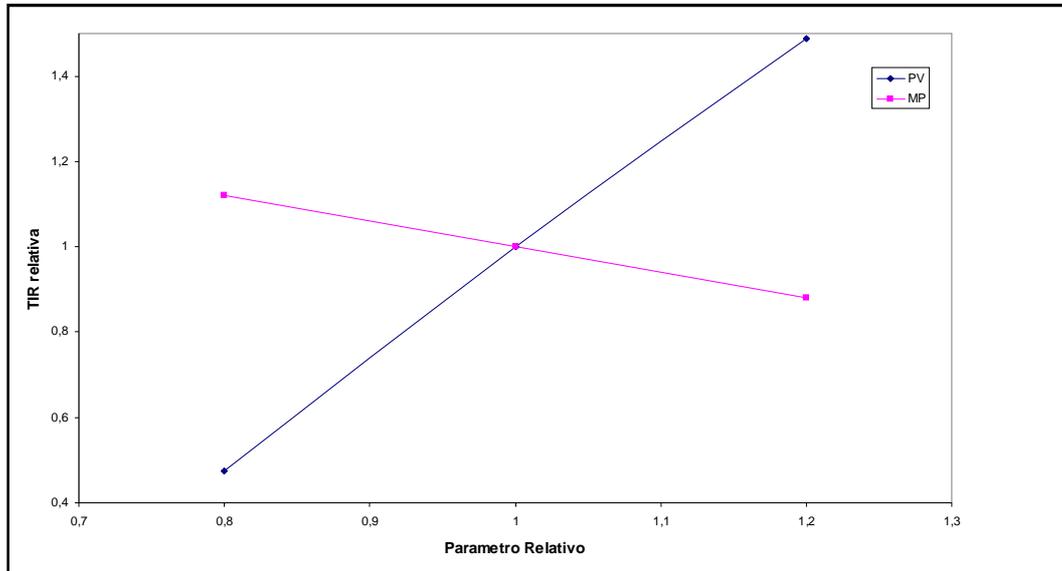


Figura 14- Análisis gráfico de sensibilidad

7 Análisis y conclusiones

Este proyecto se justifica teniendo en cuenta dos grandes consideraciones.

En primer lugar la inestabilidad económica que acotente en nuestro país desde el año 2001, generó inflaciones significativas en varios sectores como por ejemplo el de la construcción. Los ladrillos huecos tienen un costo medio actual de 0,60 dólares. Este aumento es significativo y teniendo en cuenta el ingreso medio puede decirse que es muy costoso. El emprendimiento sugerido no requiere tampoco de grandes aportes tecnológicos para tener un producto resultante de calidad. Es por esto que consideramos que esta clase de mercadería podría ser ampliamente aceptada por el público en general por ser un reemplazo de los materiales tradicionales.

Por otro lado la utilización de ciertos desechos no biodegradables como el PET es un aporte importante al mantenimiento ecológico del medio ambiente.

Consideramos en definitiva que el éxito del proyecto es muy probable en esta situación económica actual, que seguramente no sería el mismo si los ingresos medios de la población fueran mayores o los precios de los insumos para la construcción menores. Podría ser instalada una planta de características similares en regiones con un alto grado de conciencia medioambiental.

8. Referencias

- EUROTECNO S.A. Pol. Baliarda
C/3 08105-SANT FOST Barcelona SPAIN
Tel + 34 93 5705328 Fax + 34 93 5700102
e-mail: eurotecno@eurotecno.es
- Poyatos S.A.
www.Poyatos.com.es
- Venta de Terreno viva avisos
<http://venta-terrenos.vivavisos.com.ar/terrenos-campos-quintas/mar-del-plata-losa-estructura>
- Cámara de la cerámica roja (C.I.C.E.R)
www.cicer.com.ar
- INDEC
www.indec.org.ar
- Arq. Fernando Cacopardo.

7.2 – Resultados individuales

Probetas cilíndricas:

Descripción	Densidad (kg/m ³)	Resistencia (Mpa)
Normal	2244.67416	11.37632884
PP	1961.732039	5.327451555
PET	2037.183272	6.381843008
PS	1565.61307	3.218668648
Aserrín	1603.338686	3.052185787
Normal	2074.908888	8.324143054
Hueco	1659.92711	6.104371573
Hueco	1659.92711	3.496140083
PS	1584.475878	3.607128657
Aserrín	1716.515534	3.440645796
PP	1622.201494	4.162071527
PP	1565.61307	4.994485833
PP	1527.887454	3.496140083
PP	1565.61307	3.440645796
PP	1584.475878	3.940094379
PET	1716.515534	4.550531536
PET	1678.789918	3.107680074
PET	1641.064302	6.381843008
PET	1754.241151	4.328554388
PET	1678.789918	3.773611518
Normal	1980.594847	8.879085925
Normal	1886.280807	13.04115745
Normal	1848.555191	7.713705897
PS	1527.887454	7.65821161
PS	1433.573413	6.215360147
PS	1452.436221	4.495037249
PS	1641.064302	3.773611518
Aserrín	1848.555191	3.440645796
Aserrín	1791.966767	3.329657222
Aserrín	1867.417999	3.163174361
Aserrín	1905.143615	3.940094379
Normal	2150.36012	n/d
Normal	2131.497312	n/d
Normal	2225.811352	n/d
Normal	1924.006423	4.66152011
Hueco	1810.829575	6.825797304
Hueco	1659.92711	6.326348721
Hueco	1735.378342	1.997794333
Hueco	1603.338686	6.492831582
Locati	792.2379389	1.220874315
Locati	716.7867067	1.49834575
Locati	829.9635551	1.49834575
Locati	792.2379389	1.331862889
Locati	773.3751309	1.054391454
Locati	754.5123228	0.887908592
Locati	924.2775954	1.942300046
Locati	980.8660196	2.219771481
Locati	1018.591636	2.552737203
Normal	2056.04608	5.60492299
Normal	1905.143615	5.105474407
Normal	2074.908888	6.936785879

Probetas prismáticas:

Nombre	Tipo	Densidad (kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
N1A	Normal	2120.093799	3.31928565	70.840664
N1B	Normal	2181.120978	3.70087122	72.07034
N2A	Normal	2046.572867	2.45028812	61.706086
N2B	Normal	2033.118056	1.62504573	n/d
N3A	Normal	2126.340676	1.36963779	47.975018
N3B	Normal	2078.768308	1.37981341	62.349689
N4A	Normal	2005.247376	1.59655401	50.827741
N4B	Normal	2255.122439	1.58739596	29.834597
PS1A	PS Cacopardo	1570.368662	1.20581039	65.932017
PS1B	PS Cacopardo	1637.642717	1.44595491	69.004384
PS2A	PS Cacopardo	1697.708838	1.40321732	25.352918
PS2B	PS Cacopardo	1746.242263	1.62809842	23.981926
PS3A	PS Cacopardo	1676.085034	1.19461721	57.500493
PS3B	PS Cacopardo	1706.838888	1.49005762	29.445752
PS4A	PS Cacopardo	1670.318687	1.70950334	60.925532
PS4B	PS Cacopardo	1703.955714	1.28619775	44.725811
L1A	PS Locati	1346.922692	0.35980975	9.6329063
L1B	PS Locati	1304.155615	0.32785832	6.1152598
L2A	PS Locati	1081.190174	0.34088311	3.2834439
L2B	PS Locati	1276.765463	0.57197132	4.5635803
L3A	PS Locati	1291.661861	0.55640263	5.8165403
L3B	PS Locati	1322.896244	0.612165	16.046145
L4A	PS Locati	1284.863592	0.52506923	19.699929
L4B	PS Locati	1238.428334	0.53683203	14.888114
L5A	PS Locati	1375.412345	0.54310553	12.048526
L5B	PS Locati	1326.190971	0.54680241	10.125462