

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA OPTIMIZACION DE LA GESTIÓN DEL
CONCRETO FRESCO DE DESECHO Y AGUA RESIDUAL EN LA EMPRESA CEMENTOS
ARGOS.**



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803
FACULTAD DE INGENIERÍA

VALERIA ROMERO VARGAS

PROYECTO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA INDUSTRIAL

ASESORA
Elizabeth Castañeda
INGENIERA INDUSTRIAL
UdeA

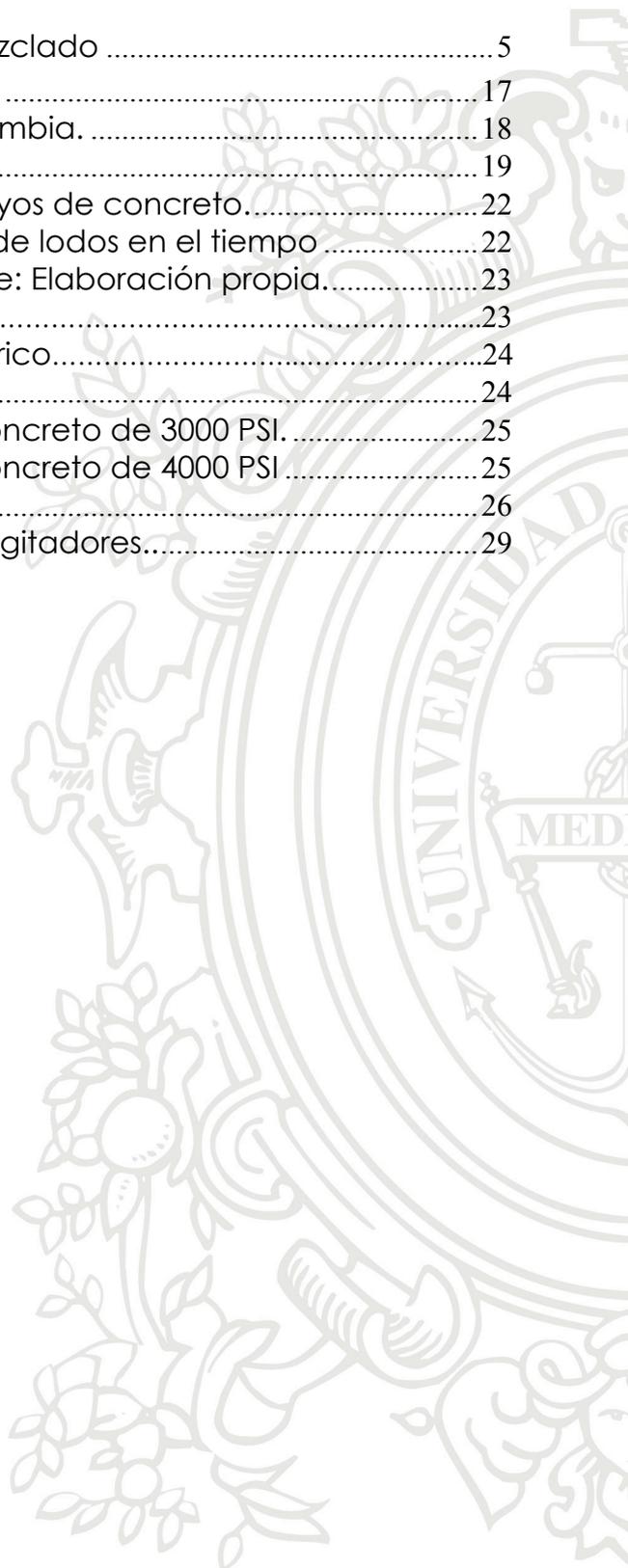
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2019

Tabla de contenido

1	RESUMEN.....	4
2	INTRODUCCIÓN.....	5
3	OBJETIVOS.....	8
4	MARCO TEORICO	9
5	METODOLOGÍA	14
5.1	Estudio de mercado	14
5.1.1	Producto.....	14
5.1.2	Mercado potencial (clientes).....	15
5.1.3	Mercado competidor	16
5.1.4	Mercado proveedor.....	19
5.1.5	Mercado distribuidor	20
5.2	Estudio Técnico	20
5.2.1	Diseño experimental.....	20
5.2.2	Especificaciones de los equipos	26
5.2.3	Ubicación.....	28
5.2.4	Diseño.....	28
5.3	Estudio legal y administrativo.....	29
5.4	Estudio financiero	31
5.4.1	Ahorros.....	32
5.4.2	Inversión.....	34
5.4.3	Operación	34
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
7	CONCLUSIONES.....	38
8	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	39

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Producción de concreto premezclado	5
Ilustración 2. Sistema constructivo Legoblock.	17
Ilustración 3. Granulados Reciclados de Colombia.	18
Ilustración 4. PTAR de Planta Bello.....	19
Ilustración 5. Materiales usados para los ensayos de concreto.....	22
Ilustración 6. Variación de sólidos en piscina de lodos en el tiempo	22
Ilustración 7. Prueba de asentamiento. Fuente: Elaboración propia.....	23
Ilustración 8. Prueba de contenido de aire.	23
Ilustración 9. Prueba de rendimiento volumétrico.....	24
Ilustración 10. Almacenamiento de cilindros	24
Ilustración 11. Resultados resistencias para concreto de 3000 PSI.	25
Ilustración 12. Resultados resistencias para concreto de 4000 PSI	25
Ilustración 13. Sistema de reciclaje cerrado.	26
Ilustración 14. Vista superior reciclador con agitadores.....	29



1 RESUMEN

En el negocio del concreto, Argos es líder en Colombia y segundo productor más grande en Estados Unidos. Cuenta con más de 340 plantas ubicadas en Colombia, Estados Unidos, Centro América y el Caribe. El modelo de negocio está centrado en el cliente y en el desarrollo sostenible, es decir, económicamente viable, respetuoso de las personas, y responsable y amigable con el medioambiente. Como en todo proceso productivo se generan desechos de diferentes fuentes, en este caso el concreto fresco de desecho procede de los excedentes de producción, lo resultante del proceso de limpieza y los sobrantes de los ensayos de laboratorio. Argos implementa diferentes estrategias para realizar la gestión de estos desechos, la opción más común es verterles en una planta de tratamiento de agua residual para sedimentar los sólidos en el agua. El mantenimiento de la PTAR genera lodos que se deben secar y llevar a escombreras, estos volúmenes pueden ascender a cientos de toneladas al mes. Una alternativa menos común es la implementación de recicladores de concreto, los cuales están en sólo 5 de sus plantas, estos permiten recuperar parcialmente el concreto fresco de desecho generando una lechada residual que es llevada a la PTAR.

La gestión de los lodos procedentes de la PTAR resulta ser un problema para la empresa por los altos costos en los que se debe incurrir. En el presente proyecto se planteó la posibilidad de recuperar el 100% del material al implementar sistemas de recicladores de concreto fresco en puntos estratégicos, además, generar ahorros significativos al aplicar dichos sistemas. Para esto se realizó un estudio de viabilidad técnica y financiera en los cuales se encontró que en la elaboración de concreto a partir de la lechada residual cumple con los diferentes ensayos realizados y es financieramente viable ya que el VPN es positivo y la TIR es mayor a la tasa de descuento esperada por la empresa.

2 INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción en Colombia ha aportado gran dinamismo a la actividad económica del país. Su contribución promedio al crecimiento del sector está en el orden de 0,8 puntos porcentuales, cifra que es superada por la industria manufacturera (1,8), el comercio (1,3) y el transporte (1,0). El último año el sector ha sufrido una contracción que está en proceso de recuperación, esta se ve afectada por la aprobación de licencias de construcción y el movimiento de los créditos hipotecarios en los bancos, pero esta todavía no alcanzaría para cerrar en terreno positivo este año (Economía y Negocios, 2018).

El concreto es uno de los principales componentes en la construcción de las grandes infraestructuras. Es el segundo material más consumido después del agua y moldea nuestro entorno; Puentes, carreteras, aceras, puertos y edificación familiar son algunos de los ámbitos donde el concreto ha ido ganando terreno a otros materiales. En los últimos meses, el mercado del concreto premezclado en Colombia se ha empezado a reponer después de un periodo de bajas en demanda del producto (Ilustración 1), comportamiento correlacionado a la contracción vivida por el sector de la construcción. El concreto se destina a 3 principales destinos, Viviendas, Edificaciones y Obras Civiles, estas últimas tuvieron una variación anual de 18,3% en mayo de 2018 y registra once meses consecutivos con variaciones anuales positivas (DANE, 2018).

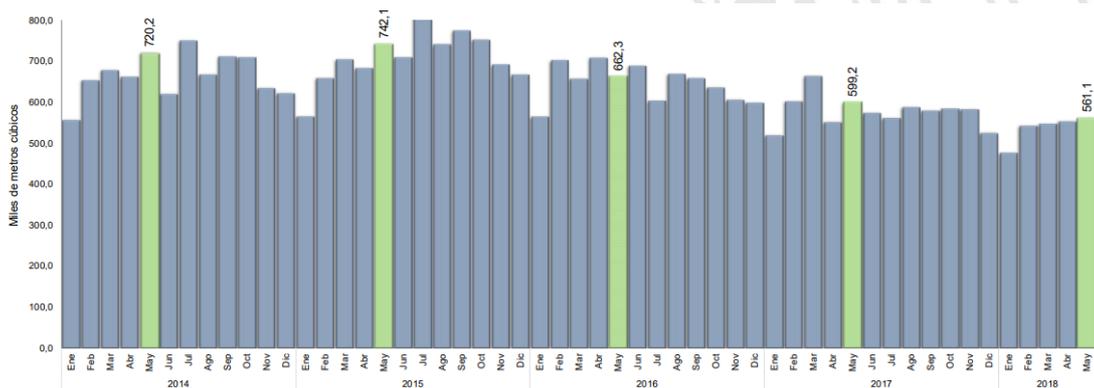


Ilustración 1. Producción de concreto premezclado (miles de metros cúbicos) (DANE, 2018).

En el negocio del concreto, Argos es líder en Colombia y segundo productor más grande en Estados Unidos. Cuenta con más de 340 plantas ubicadas en Colombia, Estados Unidos, Centro América y el Caribe. La capacidad instalada

total es de 18 millones de metros cúbicos de concreto al año. El modelo de negocio está centrado en el cliente y en el desarrollo sostenible, es decir, económicamente viable, respetuoso de las personas, responsable y amigable con el medioambiente (ARGOS, 2017).

La construcción representa una actividad que demanda alto consumo de materiales, siendo una importante generadora de residuos y de contaminación, hechos que han motivado a entidades, industrias, investigadores y demás actores de esta cadena de valor alrededor del mundo, a modificar los métodos convencionales de producir y fabricar materiales y diseñar, construir, operar y demoler los proyectos civiles (ANEFHOP, 2007), contribuyendo al desarrollo sostenible del que actualmente se promueve en todas las economías del planeta.

El alto consumo de materiales de construcción como el concreto, recae al dispendio excesivo de materias primas, que habitualmente se encuentran en la naturaleza, siendo la extracción de recursos naturales y el procesamiento de estas el impacto más importante, generador de afectaciones ambientales y paisajísticas; así, se ha vuelto punto de mira de entidades de protección del ambiente y gobiernos distritales y nacionales que han impuesto medidas para mitigar el impacto generado por esta industria, como lo es limitar cada vez más el acceso a los recursos naturales. Este tipo de restricciones representan costos por razones de transporte, en cuanto a trayectos cada vez más largos de movimiento de material, contaminación vehicular, problemas de tráfico, capacidad de acopio, etc.

Sin embargo, el problema ambiental no recae únicamente en la explotación minera, sino que también se resalta el tema de generación de residuos. Las necesidades humanas cambian y se generan desechos, más de 900 millones de toneladas por año tan solo en Europa, Estados Unidos y Japón, y otro tanto más desconocido en el resto del mundo. Los estudios actuales van enfocados principalmente a los residuos de construcción y demolición (RCD), abordando temáticas como los esquemas de reciclaje, los diferentes usos y los beneficios asociados al aprovechamiento de este material. Otra fuente importante de desechos que ha sido menos profundizado son los generados en una planta concretera, el origen estos pueden ser:

- Excedentes de concreto, constituidos por concreto fresco (sin fraguar) que sobra o es rechazado después de su distribución y es mandado nuevamente a la planta. Las cantidades de estos materiales son muy variables y difíciles de cuantificar.

- Concreto residual, que contiene concreto fresco u otros restos procedentes de la limpieza de las mixers al finalizar la jornada. El concreto residual comprende aquellos residuos procedentes del lavado de las mezcladoras y bombas de concretos.
- Otros residuos, comprende concreto fresco procedente del ensayo de consistencia, y concreto endurecido en forma de probetas de control de calidad. Dentro de este último, hay que señalar las dificultades de reciclar las probetas cilíndricas fabricadas para al control de calidad, ya que llevan incorporado un refrentado de azufre (ANEFHOP, 2007).

El propósito del proyecto a presentar va encaminado a evaluar la viabilidad técnica y financiera de imprimir sistemas de recicladores de concreto fresco en puntos estratégicos que permitan un aprovechamiento del 100% del concreto fresco de desecho, ya que, como se mencionó anteriormente, la lechada residual es desechada y según la Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (2007), esta puede ser recuperada, generando así un ahorro en cemento a la empresa, esto se traduce inmediatamente en beneficios económicos por la reducción de costos de materia prima, transporte y manejo de residuos; y un beneficio ambiental por la recuperación del cemento que causa fuertes impactos ambientales en su producción y la disminución de escombros que son botados en vertederos. Esto se lograría por medio de la implementación de un sistema de tanques con agitadores que permiten mantener en suspensión los finos en la lechada después de la separación de los agregados. Además, se debe realizar un proceso de estandarización de la densidad de los lodos en el agua para que esta pueda reutilizarse en el proceso productivo y así se reduzcan los desperdicios de materia prima a cero. Argos está interesada en apoyar y fomentar proyectos que optimicen el uso del cemento y generen beneficios a la compañía orientados a sus pilares corporativos (económicamente viable, y sostenible y amigable con el medioambiente).

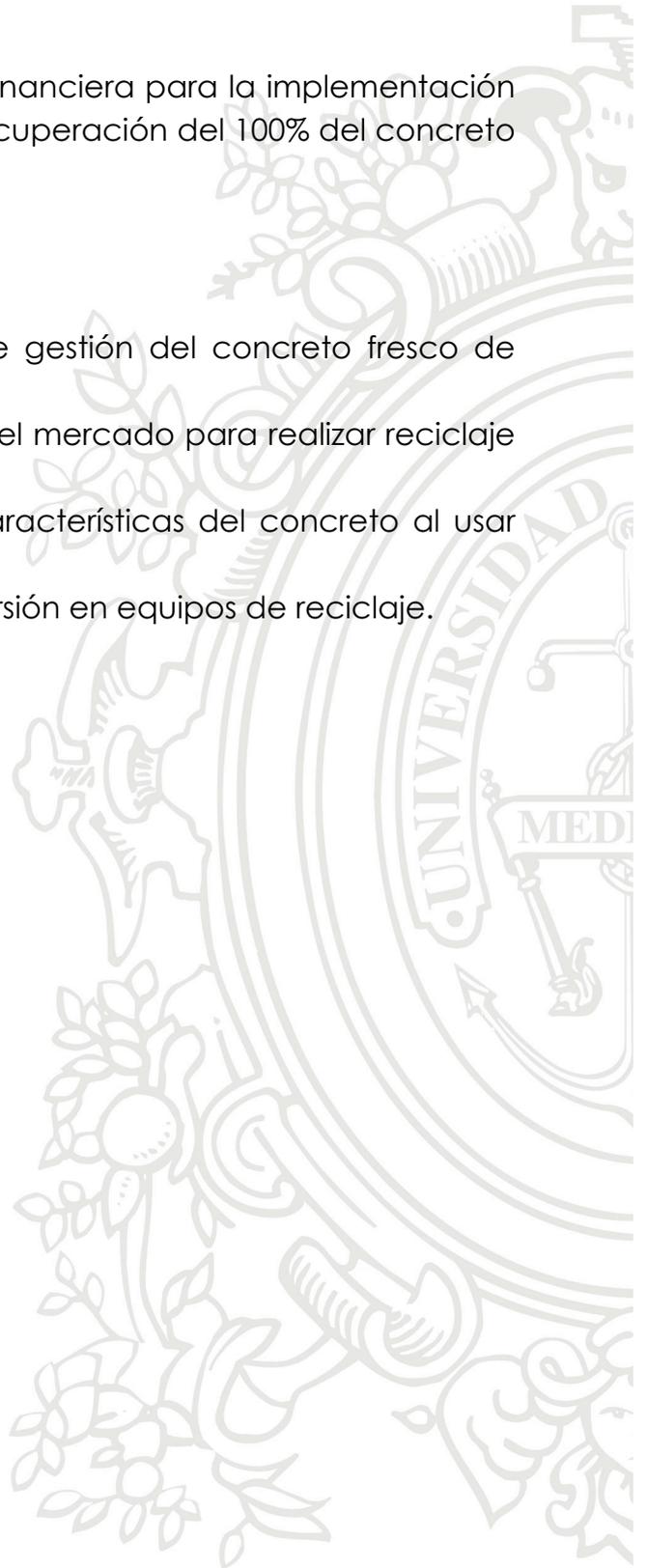
3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de viabilidad técnica y financiera para la implementación de un sistema de reciclaje que permita la recuperación del 100% del concreto fresco de desecho (agregados y lechada).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los procesos actuales de gestión del concreto fresco de desecho en diferentes plantas.
- Evaluar las alternativas disponibles en el mercado para realizar reciclaje de concreto fresco de desecho.
- Estudiar el comportamiento de las características del concreto al usar material reciclado en su composición.
- Realizar análisis financiero para la inversión en equipos de reciclaje.



4 MARCO TEORICO

La empresa Concretos Argos da claridad del proceso de producción del concreto, este es una mezcla de cemento, grava, arena, aditivos y agua; es maleable en su forma líquida y de gran resistencia en estado sólido, estas cualidades de plasticidad y resistencia le dan grandes usos en el diseño y la construcción. El proceso productivo comienza con la selección de las materias primas. Los agregados se almacenan correctamente separados por muros, con una superficie dura y con un buen sistema de drenaje. El cemento, que debe cumplir con las especificaciones del proyecto, proviene de las plantas de producción para ser almacenado en silo. Por su parte, los aditivos varían de acuerdo con las características de la estructura que se esté construyendo, y son conservados en tanques herméticos protegidos del rigor del clima (ARGOS, 2017).

Antes de iniciar el proceso se determinan las cantidades de cada uno de los ingredientes de la mezcla; para hacerlo, se utilizan sistemas y equipos automatizados de medición y dosificación, así, una vez pesadas las cantidades necesarias, se procede a realizar una mezcla homogénea entre los agregados, el cemento, el agua y los aditivos. El agua como materia prima fundamental en la producción del concreto recibe un manejo y tratamiento responsable en coherencia con la política ambiental de la empresa y los pilares de ecoeficiencia (ARGOS, 2017).

Este proceso se puede tener en planta o en el camión mezclador y así finalizar con el cargue, donde se realiza un control de calidad del producto para proceder a su entrega (ARGOS, 2017). Posteriormente los camiones regresan a la planta de concreto para recibir una nueva carga o esperar un nuevo pedido, al llegar, son lavados por dentro para eliminar los residuos de concreto sobrante en el interior de la olla y no contaminar el nuevo concreto; y por fuera para mantener la buena imagen de la compañía en la marca que llevan plasmada en el exterior. Esta limpieza se realiza de forma que recolecte la mayor cantidad de agua utilizada posible en una PTAR.

Por lo general, la cantidad de concreto fresco de desecho generado por mezcladoras representa entre el 0.4% y 0.5% del total de la producción. No obstante, en las temporadas altas, cuando la demanda aumenta, el desecho puede alcanzar entre el 5% y 9% de la producción. Las opciones para la gestión del concreto fresco pueden ser: 1. Vertimiento en basureros, 2. Reciclaje en seco, 3. Materia prima para fábricas de cemento, 4. Reciclaje en húmedo, 5.

Otros productos de concreto. No es común que las empresas tengan políticas corporativas con respecto al tratamiento de este tipo de desechos, aun así, la práctica de recuperar las devoluciones de concreto está muy extendida (Consejo Mundial Empresarial Para El Desarrollo Sostenible, 2009).

El reciclaje o recuperación del concreto presenta dos ventajas principales: reduce la utilización de nuevos agregados vírgenes y los costos ambientales de explotación, transporte y asociados; y reduce el desecho innecesario de materiales valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados. A pesar de estas ventajas, el reciclaje de concreto no tiene un impacto significativo en la reducción de la huella de carbono. La principal fuente de emisiones de carbono en el concreto está en la producción del cemento. No es viable separar el contenido de cemento en el concreto para su reciclaje o reutilización como nuevo cemento, por lo que no es posible reducir significativamente las emisiones de carbono por medio del reciclaje de concreto, aunque se logra un impacto en la disminución de extracción de nuevo material y el transporte de este.

En la regional Colombia de Argos, actualmente las plantas de Arroyohondo y Puerto tejada tienen instalados equipos operativos para reciclado de concreto fresco marca Vince Hagan, estos son se doble tornillo lavador y separan la arena y la grava que son reutilizados en la producción de concreto y la lechada residual (Slurry), que es conducida a las piscinas sedimentadoras para ser dispuesta luego de secada en botaderos. En las plantas Puente Aranda en Bogotá, Planta Bello y Planta Barranquilla implementan recicladores marca BIBKO®. En general, estos equipos son utilizados solo para el lavado de concreto devuelto de las obras, los residuos de los tambores mezcladores por lavado normal después de cada viaje es descargado en los sedimentadores de la PTAR de cada planta, por lo que la utilización de los equipos es baja.

Para la elaboración de este trabajo, se fundamentaron todos los conceptos y lineamientos de la Norma Técnica Colombiana, específicamente la NTC 385 Ingeniería civil y arquitectura. Terminología relativa al concreto y sus agregados (1999), NTC 3318 Concreto Premezclado (2008), NTC 174 Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto (2000), y la NTC 3459 Concretos. Agua para la elaboración de concreto (2001). Los conceptos claves que ayudan a entender el presente informe se definen a continuación.

Aditivo (admixture): material distinto del agua, de los agregados, del cemento hidráulico, y fibras de refuerzo, usado como un ingrediente del concreto o

mortero y añadido a la bachada, antes o durante su mezclado, para modificar una o varias de sus propiedades (ICONTEC, 1999).

Agregado (aggregate): material granular, como la arena, la grava, la piedra triturada, o la escoria de alto horno, usado para elaborar concreto o mortero (ICONTEC, 1999).

Agregado fino (fine aggregate): agregado cuyo tamaño de partículas es inferior a 4,8 mm y superior a 75 μm (No 200) (ICONTEC, 1999).

Agregado grueso (coarse aggregate): (1) agregado predominantemente retenido sobre el tamiz de 4,75 mm; o (2) la porción de un agregado retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (ICONTEC, 1999).

Concreto (concrete): material compuesto que consta, esencialmente, de un medio aglutinante dentro del cual están embebidas partículas o fragmentos de agregados; en el concreto de cemento hidráulico el aglutinante es formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua (ICONTEC, 1999).

Concreto fresco (fresh concrete): concreto que posee buena parte de su trabajabilidad original, de modo tal que puede ser colocado y consolidado por los métodos deseados (ICONTEC, 1999).

Contenido de aire (air content): volumen de vacíos de aire en la pasta de cemento, mortero o concreto, excluido el ocupado por los poros de las partículas de agregado, usualmente expresado como un porcentaje del volumen total de la pasta, mortero o concreto (ICONTEC, 1999).

Escombros: Todo tipo de residuo sólido, resultante de demoliciones, reparación de inmuebles o construcciones de obras civiles; es decir, los sobrantes de cualquier acción que se ejerza en las estructuras urbanas (EL CONGRESO DE COLOMBIA, 2018).

Fraguado (setting): proceso que consiste en un desarrollo gradual de la rigidez de una mezcla cementosa; se debe a reacciones químicas y ocurre después de la adición del agua de mezclado (ICONTEC, 1999).

Grava (gravel): agregado grueso resultante de la desintegración natural y la abrasión de rocas, o del proceso desintegración de conglomerados rocosos débilmente ligados o confinados (ICONTEC, 1999).

Lechada de exudación (laitance): capa de material débil, compuesta por un cementante y agregados finos 1) conducida por exudación hacia la superficie o hacia cavidades internas del concreto recién colocado, o 2) separada del concreto y depositado sobre su propia superficie o en cavidades internas durante la colocación del concreto bajo agua (ICONTEC, 1999).

Relación agua/cemento (water-cement ratio): relación entre la masa de agua, sin incluir la absorbida por los agregados, y la masa del cemento Portland en el concreto, o mortero, expresada en forma decimal (ICONTEC, 1999).

Tiempo de fraguado (time of setting): lapso de tiempo que transcurre desde la adición del agua de mezclado a una mezcla cementosa, hasta que la mezcla alcanza un determinado grado de rigidez, el cual es medido por un procedimiento específico (ICONTEC, 1999).

Comentario: El desarrollo de la rigidez durante el fraguado es un proceso gradual y continuo, y el tiempo de fraguado se define arbitrariamente, en términos de un método de ensayo dado. Para mezclas cementosas, el tiempo de fraguado se define, usualmente, como el lapso para obtener un nivel especificado de resistencia a la penetración de una sonda.

Tiempo de fraguado final (del concreto) (time of final setting (of concrete)): lapso necesario, después del contacto inicial del cemento con el agua, para que el mortero tamizado del concreto alcance una resistencia a la penetración de 27,6 Mpa (4 000 psi) (ICONTEC, 1999).

Tiempo de fraguado inicial (del concreto) (time of initial setting (of concrete)): lapso necesario, después del contacto inicial del cemento y el agua, para que el mortero tamizado del concreto, concreto a concreto a la penetración de 3,5 Mpa (500 psi) (ICONTEC, 1999).

Trabajabilidad del concreto (workability of concrete): propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de concreto fresco, recién mezclado, con la mínima pérdida de homogeneidad (ICONTEC, 1999).

Vacíos (air void): espacio lleno de aire en la pasta de cemento, mortero o concreto; un vacío de aire atrapado se caracteriza por tener 1 mm o más de ancho, y por su forma irregular; un vacío típico de aire incorporado por tener entre 10 mm y 1 000 mm de diámetro y por su forma esférica, o casi esférica (ICONTEC, 1999).

La empresa Argos basa su gestión de proyectos en la metodología del PMI, el cual define el proyecto como un emprendimiento temporal que se lleva a cabo para crear un producto o servicio. Es un proceso, con una duración determinada y un fin concreto, compuesto por actividades y tareas diferentes, que puede ser elaborado de manera gradual. Todo proyecto necesita ser dirigido o gestionado por un director de proyectos. La dirección de proyectos sería la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades que componen los proyectos, con el fin de satisfacer los requisitos del mismo. Según el PMI, la dirección de proyectos se logra mediante la ejecución de procesos, usando conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas de dirección (Project Management Institute, 2017).

Existen diversas formas de realizar la evaluación de proyectos o estudios de factibilidad, el Ministerio de Comercio Exterior propone en el Manual para la elaboración de planes de negocio (2010) desarrollar los siguientes puntos:

- Análisis del producto o servicio, en el cual se detallan las características del producto.
- Estudio de mercado, aborda el análisis de la demanda y la competencia.
- Estudio de factibilidad técnica, donde se detallan las características técnicas para la producción del producto o servicio y se realiza la ingeniería de detalle.
- Estudio administrativo y legal donde se verifica que las acciones proyecto estén dentro del marco jurídico vigente y, por consiguiente, puedan llevarse a cabo.
- Estudio financiero, que evalúa la viabilidad de implementación desde la parte económica, en el se revisa la

5 METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta el propósito del proyecto, la metodología utilizada se basó en un plan de negocios del proyecto que pretende un análisis global enmarcado en la definición y desarrollo de cuatro estudios, los cuales buscan obtener suficiente información para poder tomar las respectivas decisiones que permitan la implementación del proyecto. El primero es el estudio de mercado, con este se buscó analizar el entorno del proyecto, la demanda, los competidores, los proveedores y los canales de distribución. Luego se abordó el estudio técnico, el cual permitió definir la localización, los equipos a utilizar y el diseño en planta de estos, además se realizó la prueba de viabilidad técnica que verifica que se puede realizar concreto a partir de la lechada. El estudio administrativo y legal abordó la reglamentación que se debe cumplir para hacer posible el proyecto desde la parte técnica. Finalmente, el estudio financiero cuantificó los beneficios y costos monetarios para llevar a cabo el proyecto.

5.1 Estudio de mercado

El estudio de mercados va enfocado a identificar cuál es el producto y cuál va a ser su aceptación en el mercado, para esto se dividió en los elementos que establece el estudio de las 5 fuerzas de Porter (Porter, 2008). Se debe tener en cuenta que el proyecto se desarrolló a nivel interno en la empresa y no se afecta por participación externa, por lo tanto, se evaluaron las fuerzas desde las cualidades de cada una y no desde la fuerza que tienen sobre el proyecto. Inicialmente se describió cual es el producto y sus características. Luego, se abordó la primera fuerza que busca identificar a los clientes. La segunda fuerza estudió los competidores, estos son entendidos como las alternativas para la gestión del concreto fresco de desecho. Se continuó el estudio de los proveedores para ahondar en la tercera fuerza, corresponden a las empresas que venden equipos para el reciclaje de concreto fresco. Finalmente la cuarta y quinta fuerza no se incluyeron ya que no hay en el momento amenazas de nuevos competidores ni productos sustitutos; en cambio se abordó el mercado distribuidor para identificar como llegar al cliente.

5.1.1 Producto

Actualmente Argos realiza proceso de reciclaje de concreto en 5 plantas: Bello, Puente Aranda, Barranquilla usando equipos BIBKO, mientras que en

Arroyohondo y Puerto Tejada que usa un equipo Vince Hagan, por lo tanto, se sabe que es un producto en el cual la compañía está interesada. Además, según su estrategia de sostenibilidad, todas las acciones de la empresa están orientadas a crear valor para la sociedad a través de cuatro dimensiones, entre ellas la producción responsable, la cual se enfoca en utilizar los recursos de manera responsable para mitigar, corregir y compensar los impactos en la cadena de valor (ARGOS, 2017).

En la operación del reciclador se obtiene la salida de dos o tres productos, los agregados que pueden ser recuperados juntos o separados en arena y grava; y la lechada. La arena y grava que son procesadas por el reciclador tienden a ser de mejor calidad que los agregados naturales ya que los poros fueron sellados por el concreto con el que entró en contacto anteriormente. La lechada contiene cemento, ceniza (en caso de ser usada) y finos, por lo tanto, se espera que tenga un impacto positivo en la resistencia del concreto.

Otros estudios determinaron la fracción de arena fina de la masa de los sólidos secos, esto se logró al secar al horno una muestra de la lechada, luego se disolvió en ácido para determinar el residuo insoluble. Dado que los materiales cementosos se disuelven en ácido, el residuo insoluble representa la fracción de arena fina, que fue aproximadamente el 10 por ciento de la masa de los sólidos secos (Lobo & Mullings, 2003).

Se verificó que la lechada cumpliera con la NTC 3459, por la cual se regula el agua utilizada para la producción de concreto. Para esto, se envió al laboratorio una muestra de la lechada tomada en la salida del reciclador y una muestra del agua recirculada usada actualmente. Se encontró que el agua cumple con las especificaciones de calidad necesarias.

De acuerdo con el requerimiento de agua que tenga la planta, se puede obtener excedentes de lechada, una alternativa para tratar esta situación es la implementación de un filtro-prensa como en Puente Aranda.

5.1.2 Mercado potencial (clientes)

El mercado potencial (clientes) está dado por las plantas que tienen desechos de concreto y, por consiguiente, escombros para botar. Para este estudio se consideró evaluar la necesidad de reciclaje en las tres plantas más grandes de la zona noroccidente, las cuales son Bello, Medellín y Guayabal. Para evaluar los impactos de implementar un reciclador se analizaron también la planta

Puente Aranda y Barranquilla. Esto con el fin de comparar el impacto en la disminución de escombros y observar los ahorros reales alcanzados en estas plantas. Es importante aclarar que los recicladores en estas plantas son relativamente nuevos, por lo tanto, se observó una curva de (aprendizaje/calentamiento) mientras se normaliza la utilización del reciclador, además se tuvo en cuenta a qué capacidad se está usando realmente el reciclador.

El sistema de reciclaje propone poder recuperar el 100% de los desechos de concreto producidos en las plantas provenientes de diferentes fuentes. Desechos de probetas de laboratorio, carretas, regueros de concreto en suelo, residuos de plantas mezcladoras se deberían procesar en el reciclador. En la recolección de información se encontró que muchos de estos residuos no están siendo contabilizados o se registran parcialmente, por lo tanto, el impacto real de cada fuente no puede ser calculado y se tomó los escombros como la demanda de material recuperado por el uso del reciclador.

5.1.3 Mercado competidor

Para estudiar el mercado competidor se puede considerar las alternativas que existen para la gestión del concreto fresco de desecho. En Colombia es común que se realice utilizando una PTAR, mientras que en países Europeos los desechos se utilizan en legos prefabricados o se reciclan dependiendo de cada empresa. Las diferentes opciones se evaluaron y son resumidas a continuación:

- Hacer prefabricados

El concreto prefabricado se refiere a la colocación del concreto en alguna ubicación diferente de su posición final en la estructura, usualmente en una planta. Cuando estos elementos han sido curados hasta alcanzar una resistencia suficiente para su manejo, son removidos de sus moldes y trasladados a la estructura. El concreto prefabricado puede ser estructural o arquitectónico; El estructural incluye vigas, trabes, viguetas, columnas, pilas, pilotes, cabezas de pilotes, losas, paneles portantes de muros de carga, etc. Este concreto puede ser convencionalmente reforzado o pres-forzado; Referente al arquitectónico típico, incluye paneles de muros con ventanas, portaluces, coberturas de columnas, etc. Este concreto puede ser sin refuerzo, convencionalmente reforzado o presforzado (Bravo, 2017). Un ejemplo de esto es la empresa Legoblock, que promueve una nueva manera de construir casa prefabricadas sin renunciar a la calidad, mediante diferentes tipos de piezas,

logrando formar desde muros rectos, perpendiculares hasta vanos de puertas y ventanas mediante la utilización de dinteles. Los concretos utilizados son ligeros y las piezas son ensamblables y autoalineables de tal modo que la edificación es de fácil ejecución sin perder la confiabilidad de la estructura. La Ilustración 2 hace alusión al sistema propuesto por Logoblock (Legoblock., 2018).

El sistema constructivo Legoblock esta **integrado por tres elementos.**

1. Losa de cimentación multiestructural.
2. Blocks machimbrados (Legoblocks)
3. Losas de entrepiso y/o azotea LST

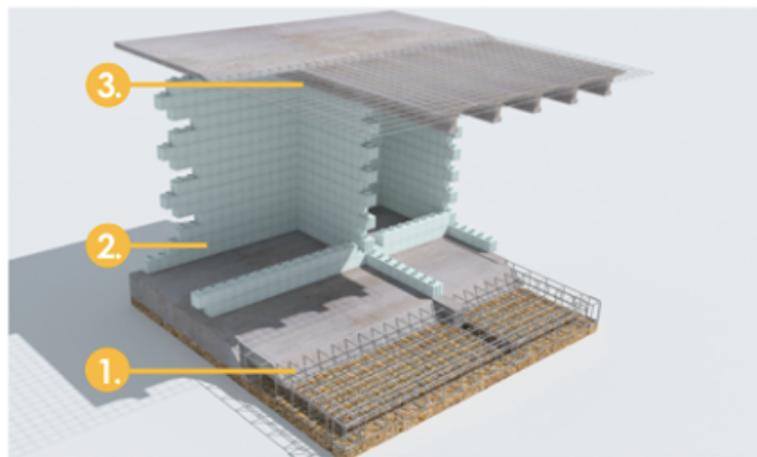


Ilustración 2. Sistema constructivo Legoblock. Fuente: (Legoblock., 2018)

- Reciclarlo:

El concreto puede ser reciclado en seco o en fresco. Una vez el concreto ha sido mezclado, no es posible extraer el cemento para reciclarlo. No obstante, el concreto de desecho puede ser reciclado en seco en el proceso de nuevo cemento en cantidades controladas, ya sea como materia prima alternativa para producir Clinker o como aditivo, al moler el Clinker con yeso y otros agregados (Consejo Mundial Empresarial Para El Desarrollo Sostenible, 2009). El reciclaje en fresco se realiza cuando el concreto antes de que se seque para separar la lecha de los áridos y reutilizar en producción todos los productos procedentes del proceso.

- Procesar como residuo de construcción y demolición

El concreto recuperado a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD) puede ser triturado y utilizado como agregado. Su uso más común es como sub-base vial. También puede ser utilizado en concreto nuevo como agregado. Es generalmente aceptado que el 20% (o más) del contenido de agregados puede ser reemplazado por concreto reciclado para aplicaciones estructurales. La empresa Granulados Reciclados de Colombia (GRECO) promueve la gestión integral de los RCD, está ubicada en Bogotá y poseen la planta más moderna en Latinoamérica (Ilustración 3) con capacidad de procesar un millón de toneladas al año. Apuestan a la contribución de la economía circular promoviendo la reutilización de los residuos (GRECO, 2017).



Ilustración 3. Granulados Reciclados de Colombia. Fuente: (GRECO, 2017).

- Realizar programas de redirección de mixes

Muchas empresas están utilizando sistemas de posicionamiento global en sus camiones que se reportan a una estación de control central, de modo que el concreto pueda ser redireccionado a medida que las órdenes de compra cambian, así se minimiza la generación de desperdicios (Consejo Mundial Empresarial Para El Desarrollo Sostenible, 2009).

- PTAR:

Las plantas de tratamiento de agua es la alternativa más común en la región para el tratamiento de aguas residuales de la operación. Estas provienen

principalmente del lavado de las mixers donde se combina el concreto sobrante con agua limpia. La PTAR funciona por sedimentación, esta consiste en la separación, por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua, como la grava y la arena. El objetivo principal es obtener un efluente clarificado y producir un lodo cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo. Los elementos principales de este sistema se observan en la Ilustración 4.

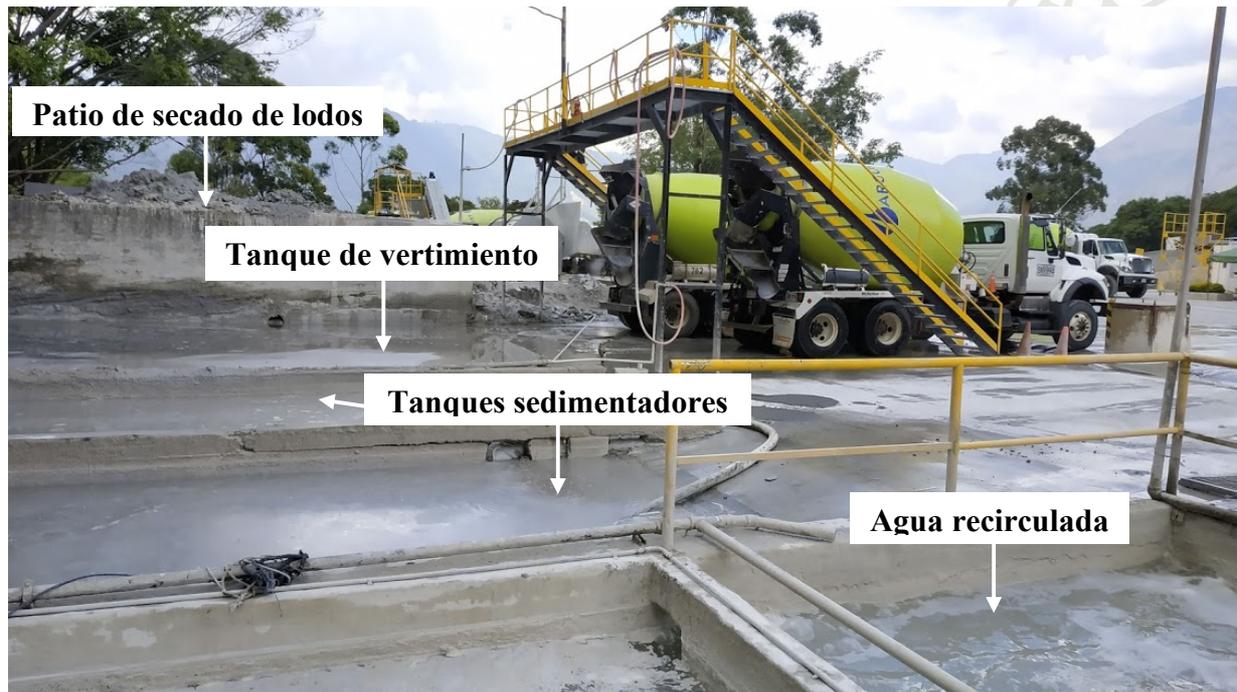


Ilustración 4. PTAR de Planta Bello. **Fuente:** Elaboración propia.

5.1.4 Mercado proveedor

En esta sección se hizo un acercamiento inicial a los proveedores de equipos de reciclaje de concreto fresco, donde se revisó el tipo de equipo que ofrecen, la cantidad de mixers simultaneas que pueden lavar al tiempo, la capacidad de m³ por hora, la propuesta para los lodos excedentes del proceso, entre otras variables. El costo de los equipos se encuentra desactualizado ya que no se pudo acceder a la información actualizada de todos los proveedores, pero se encontró un fuerte interés en BIBKO quien estuvo al tanto del proyecto y proporcionó toda la colaboración para obtener la información requerida para los diferentes estudios, además, este proveedor tiene una propuesta de procesamiento completa y ya se tienen equipos funcionando en la empresa, por lo tanto, se hace atractiva la intervención del mismo. El cuadro resume con los comparativos entre proveedores se encuentra en el Anexo 1.

5.1.5 Mercado distribuidor

Los equipos de reciclaje pueden ser fijos o móviles, a futuro sería ideal que cada planta tanto móvil como fija tenga su propio equipo reciclador, pero en esta etapa inicial no se puede incurrir en una inversión tan alta. Por lo tanto, para que cada mixer pueda lavar en un reciclador y así garantizar un máximo de ahorros posibles, las mixers deben desplazarse a la planta con reciclador más cercana. Se deja abierto para estudios posteriores el diseño del transporte de las mixers para garantizar que el costo de operación sea menor al beneficio del reciclaje, en este punto se debe considerar los costos del vehículo y del operario, además del costo por disminuir el tiempo efectivo productivo.

5.2 Estudio Técnico

El estudio técnico abarca la descripción técnica del producto, el tamaño de la planta según el volumen de material a procesar, y la ingeniería del proyecto. El primer paso para este estudio fue verificar que la lechada sea apta para hacer concreto y que esta cumpla los parámetros de calidad estipulados por la empresa y por las distintas NTC, para esto se hicieron una serie de ensayos donde se reemplazaba en diferentes proporciones el agua utilizada para las mezclas por lechada, y así evaluar los impactos del uso de esta en las características del concreto. De esta manera, se definió el proceso productivo, las instalaciones y equipos a utilizar, la distribución en planta, materias primas requeridas para el proceso y el personal necesario para la operación. En los diseños se tuvo en cuenta los requerimientos de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (SISO) de la empresa.

5.2.1 Diseño experimental

Los ensayos realizados fueron con el fin de revisar la viabilidad de usar la lechada como materia prima para nuevo concreto, la empresa me sugiere usar agua con densidad de 1.05 kg/L (también BIBKO) y está en diferentes proporciones. Se realizaron 2 muestras, uno para concreto de 3000 PSI y otra para 4000psi, con 3 variables cada una y sus respectivos testigos (realizados con

agua potable). De cada uno se hicieron cilindros para fallar a edades de 1, 3, 7, 28 y 56 días.

Las mezclas se realizaron en planta Bello ya que es la única planta en la zona que tiene reciclador por lo tanto se facilitaba la recolección de la lechada por temas de transporte y edad del agua. La edad del agua corresponde a la cantidad de horas que está en las piletas de agitación después de ser procesada por el reciclador. Los ensayos son realizados a nivel de laboratorio, en caso de que el proyecto tenga continuidad se realizarán posteriormente a nivel de producción.

Entre los aspectos importantes para tener en cuenta es que en las pruebas se debe mantener la misma relación agua/cemento ya que si no se vería afectados los resultados de la resistencia por factores diferentes al agua que se esta proponiendo. Además, la prueba de asentamiento debe procurarse que se obtengan resultados similares entre el testigo y las propuestas.

5.2.1.1 Materiales y muestras

Se recogió una muestra de lechada en la boca de salida del reciclador marca BIBKO de planta Bello en un balde de 25 litros, esta se mantuvo agitada hasta el momento de realizar las pruebas para mantener los sólidos en suspensión. Se realizó la prueba de densidad del agua utilizando una probeta y una gramera. Se usó la lechada para reemplazar el agua potable en distintas proporciones de 10%, 20% y 50%, luego se usó para realizar las mezclas de concreto. El concreto usado fue Cemento Uso Concretero de Argos el cual cumple con los valores de la Norma Técnica Colombiana NTC 121 (Tipo ART) (Argos, 2018). Se usan 2 tipos de arena, estas son suministradas por Mincivil y Canteras de Colombia; esta última también provee la grava de 1". Finalmente se utilizan los aditivos Sika ViscoFlow, el cual está diseñado como un reductor de agua de alta gama o superplastificante. Es particularmente adecuado para su uso en concretos que requieren bajas relaciones agua / cemento y / o altas reducciones de agua. (Sika®, 2016); Y el aditivo AD-80 igualmente de la marca Sika, que permite aumentar la manejabilidad de las pastas de cemento y por lo tanto la manejabilidad del concreto. Este incremento en la manejabilidad hace posible disminuir el contenido de agua y de cemento manteniendo la fluidez del material y su resistencia (Sika®, 2014), los materiales usados se pueden observar en la Ilustración 5.



Ilustración 5. Materiales usados para los ensayos de concreto. **Fuente:** Elaboración propia.

Un punto importante para tener en cuenta es que las características de la lechada en este tanque serán bastante variables a medida que el agua se retire y se agregue a ella en el lavado de camiones durante cualquier día de producción. La Figura 1 ilustra la variación del contenido de sólidos con el tiempo de un tanque de retención de agua reciclada real. Agregar este producto variable sin control es seguro que causará variaciones en el lote de las propiedades del concreto. Es imperativo que el productor cuente con un sistema que reconozca esta variabilidad y se ajuste para que el cliente no vea las diferencias en las propiedades de rendimiento del concreto en las cargas posteriores de concreto.

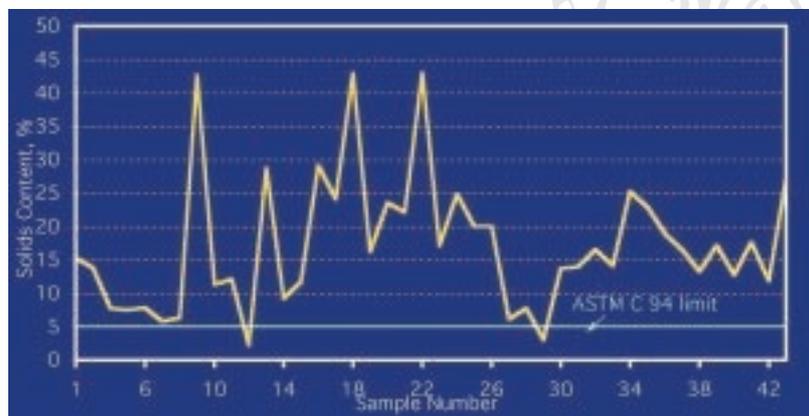


Ilustración 6. Variación de sólidos en piscina de lodos en el tiempo **Fuente:** (Lobo & Mullings, 2003)

5.2.1.2 Procedimientos

Los diseños de las mezclas fueron realizados para un volumen de 1m³, proporcionalmente se tomaron las cantidades necesarias para 25 litros ya que esta era la capacidad del tambor donde se realizaron las mezclas.

A los agregados se les realizó corrección de humedad y absorción, debido a que la arena está a la intemperie y la humedad que contiene aporta agua a la mezcla. La corrección se realizó tomando una muestra de cada uno de los agregados a usar, se pesaron en una báscula para tomar el peso inicial, se pusieron al fuego para evaporar el agua y se volvieron a pesar después de que estos estén totalmente secos, finalmente se toma el peso final y se calcula el porcentaje de humedad del material. El porcentaje de absorción esta predefinido por la empresa y corresponde a 2% para la arena de mincivil, 1% para la arena de canteras y 0,8% para la grava de canteras.

La prueba fue realizada por técnicos y laboratoristas certificados proporcionados por la empresa siguiendo las normas NTC que rigen el proceso. Se realizó la toma de asentamiento (ilustración 7) , la medición de contenido de aire (Ilustración 8) y rendimiento volumétrico (Ilustración 9). Finalmente, se anota la fecha y hora en la cual se realiza la prueba de asentamiento ya que desde ese momento se contabiliza la edad para las fallas. Las muestras fueron almacenadas en piletas para mantener la temperatura controlada y así garantizar la calidad del ensayo (ilustración 10).



Ilustración 7. Prueba de asentamiento. **Fuente:** Elaboración propia.



Ilustración 8. Prueba de contenido de aire.



Ilustración 9. Prueba de rendimiento volumétrico. **Fuente:** Elaboración propia.



Ilustración 10. Almacenamiento de cilindros. **Fuente:** elaboración propia.

5.2.1.3 Resultados

Debido a que la prensa de planta Bello con la cual se realizan las pruebas de resistencia presentó fallas, los cilindros correspondientes a las edades de 3 días para las dos resistencias y las de 7 días de la resistencia de 3.000 PSI fueron

trasladados a planta Medellín. Se pueden haber afectado los cilindros durante el transporte ya que no se pudo garantizar que hayan sido movilizados con total cuidado y esto pudo afectar los resultados de las pruebas, ya que estos no siguen la tendencia normal como se puede observar en la Ilustración 11 para el concreto de 3.000 PSI y la Ilustración 12 para 4.000 PSI. El comportamiento esperado sería que la prueba que comience con mejor resistencia se mantenga de esta manera dibujando curvas suaves para todos los ensayos y no cortándose continuamente entre ellos como sucede en ambos casos.

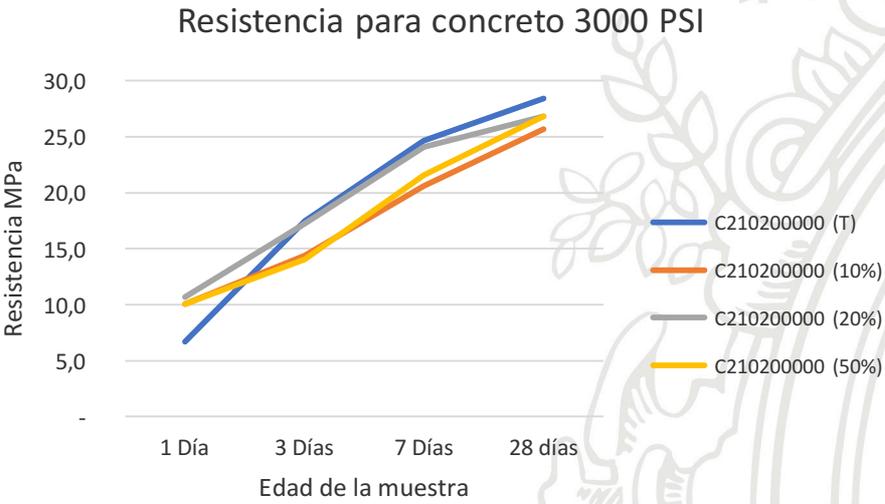


Ilustración 11. Resultados resistencias para concreto de 3000 PSI. Fuente: Elaboración propia.

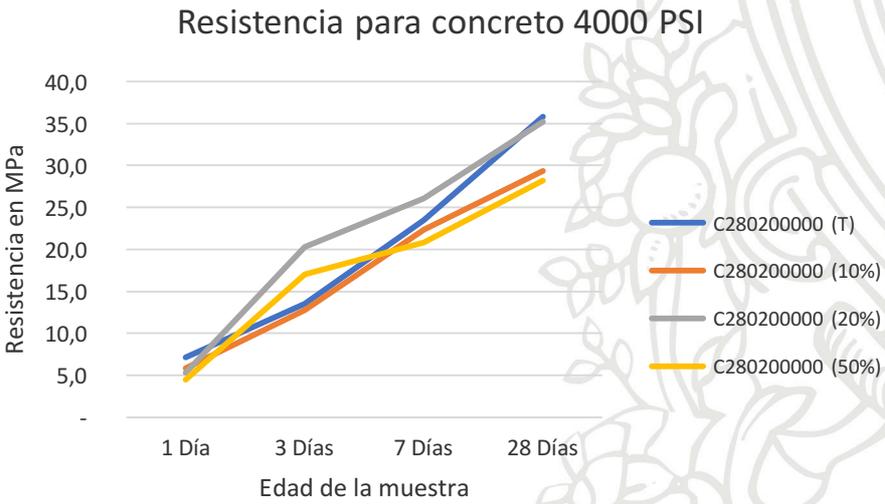


Ilustración 12. Resultados resistencias para concreto de 4000 PSI. Fuente: Elaboración propia.

Para ambas resistencias, a 7 días, la prueba con mejores resultados era la del 20% de lechada, pero a 28 días ambos testigos dominaron en los resultados. Los

ensayos para 56 días no consiguen entrar en el presente informe a causa de que no lograron ser ejecutados con suficiente anticipación. Las resistencias mínimas que deben cumplir los cilindros son satisfechas por los ensayos por lo tanto se aceptó la lechada como apta para hacer concreto.

5.2.2 Especificaciones de los equipos

Las siguientes son las especificaciones dadas por el proveedor BIBKO® con el cual se realizó todos los análisis financieros. El equipo incluye un reciclador con capacidad de hasta 30 m³ / h, esta es sugerida por el proveedor conociendo la producción de las plantas y el upgrade con agitadores, así se garantiza la recuperación del 100% del material y cero desechos (Ilustración13). Adicional de los quipos se deben considerar las obras civiles, y conexiones eléctricas, mecánicas e hidráulicas necesarios.

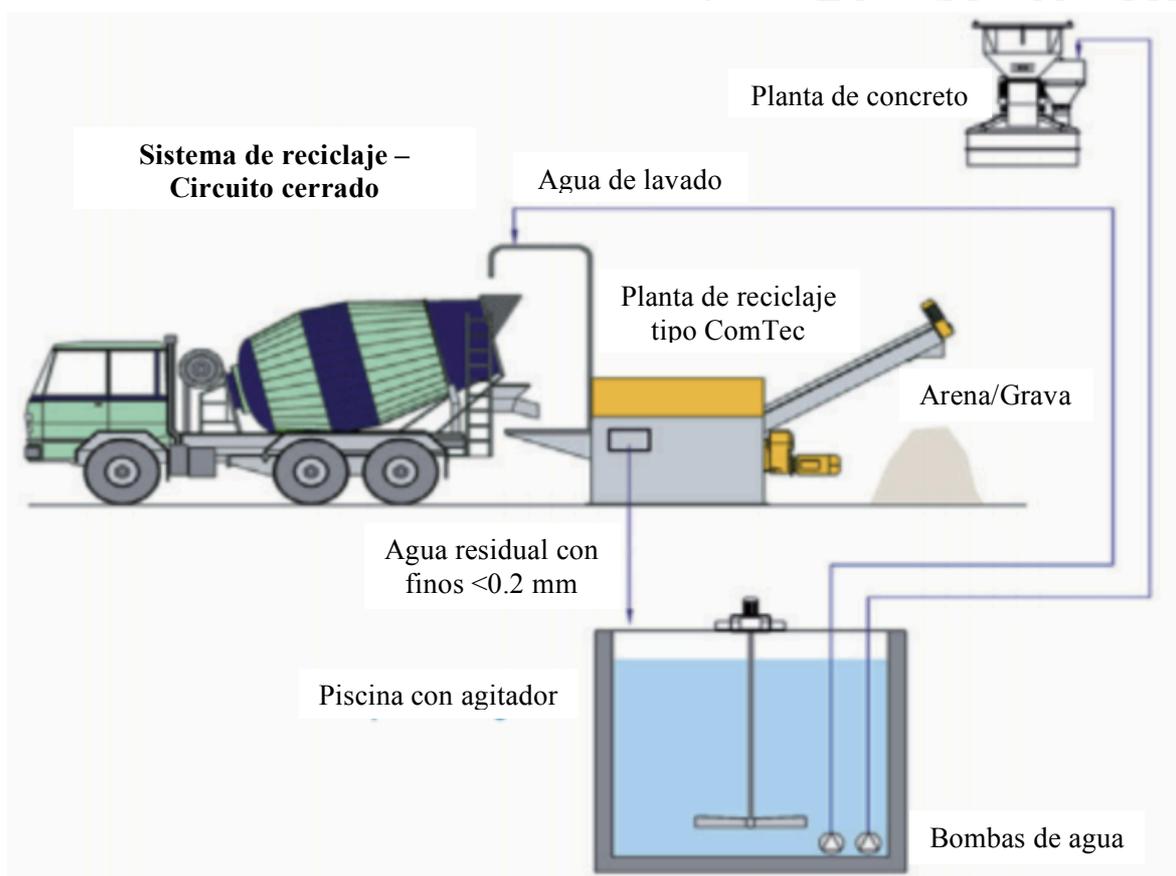


Ilustración 13. Sistema de reciclaje cerrado. **Fuente:** Bibko.

Ítem 1.1 Máquina de reciclaje BIBKO® 1x ComTec 30 TYP 30 VL
Longitud interna del contenedor 3.500 mm.
Ancho interno del contenedor 2.000 mm.

Consumo de energía de la máquina 5,5 kW (440V 60Hz) *

Nº de revoluciones Máquina 3,6 rpm.

Capacidad de reciclaje (hormigón normal B25) hasta 30 m³ / h

Incluye paquete de confort:

+ Máquina de aluminio que cubre los resortes de presión de gas abatibles.

+ Rodamiento en caja de engranajes (lado del motorreductor)

1 x transportador especial agregado montado

Longitud 5.000 mm *

Transportador de carga 3 kW.

Diámetro 350 mm

+ Depósitos de elastómero, elástico.

+ Rodamiento fuera del área de agua

Ítem1.2 1 x BIBKO®- Buffer de dosificación para ComTec 30 TYP 5

Longitud interna del contenedor 5.000 mm.

Ancho interno del contenedor 2.000 mm.

Consumo de energía de la máquina 5,5 kW (440V 60Hz) *

Incluye paquete de confort:

+ Rodamiento en caja de engranajes (lado del motorreductor)

+ Tolva de alimentación 8.000x1.000 * mm, Galvanizado de todas las piezas de acero con bajo contenido de carbono en nuestra oferta

Ítem2. 2 x Tubería de agua de enjuague girada 2", para lavar el mezclador del camión con el agua de la última cámara de la piscina.

Ítem3 1 x Regulador de nivel para el depósito de agua de lodo; Medición de nivel y flujo, sin contacto con el producto, a través de un altímetro ultrasónico con soporte para sensores y medidores electrónicos.

Ítem4 1 x Unidad de control electrónico para controlar la tasa de suministro del sistema de reciclaje y separación de agua PLC Siemens

Ítem 5 Upgrade con agitadores

5.1. Juego de rejillas galvanizadas 12mx4m para tapar las piletas, con sistemas de fijación. Galvanizado por inmersión en caliente de todas las partes de acero de la oferta.

5.2. 2 bomba sumergible especial Flygt 2,2kW. (Para lavar los mixers).

5.3. 1 Bomba sumergible especial Flygt 2,2kW. (Para control de la densidad 1ra pileta)

5.4. 2 Bomba sumergible especial Flygt 5,9kW. (Para aportar agua a producción)

5.5. 3 Agitadores 4kW, uno por cada pileta de 4x4x4m.

5.6. 2 Densímetro para trabajar en conjunto con los sensores de nivel existentes, y la implementación de software asociado para control de la densidad en la pileta a producción.

5.7. Tablero de Control y Unidad electrónica (control en 24V) con PLC Siemens, programación standard para el control de todas las funciones y sistema de regulación de nivel ultrasónico.

5.2.3 Ubicación

Se consideró que los recicladores pueden estar ubicados estratégicamente para procesar la mayor cantidad de concreto de desecho, para esto no solo se tomó en cuenta la planta donde debe estar ubicado, sino también que pueda recibir camiones de plantas cercanas que necesiten desechar los excesos o simplemente lavar las ollas. Finalmente, se determinó que los equipos deben ser ubicados en plantas fijas para poder garantizar la disponibilidad y capacidad para todas las plantas móviles aledañas. Las plantas que cumplieron estos requisitos son Planta Bello para atender la zona norte, planta Medellín para la zona central y Planta Guayabal para la zona sur, aunque esta última será desmontada pronto y será reemplazada por planta Itagüí para atender los requerimientos de dicha zona.

5.2.4 Diseño

La Ilustración 14 corresponde a la vista superior del reciclador BIBKO® diseñado para la planta bello con la propuesta de los agitadores que actualmente no se tiene implementada, estos responden a la descripción dada en el apartado 5.4.2 Especificaciones de los equipos. El proveedor indicó que los diseños específicos de Medellín y Guayabal deben ser estudiados con detalle ya que no existe un diseño genérico para todos los clientes sino que se diseña a necesidad, pero con la ilustración se busca dar a conocer el diseño esperado para otras plantas modificándolo a las respectivas necesidades.

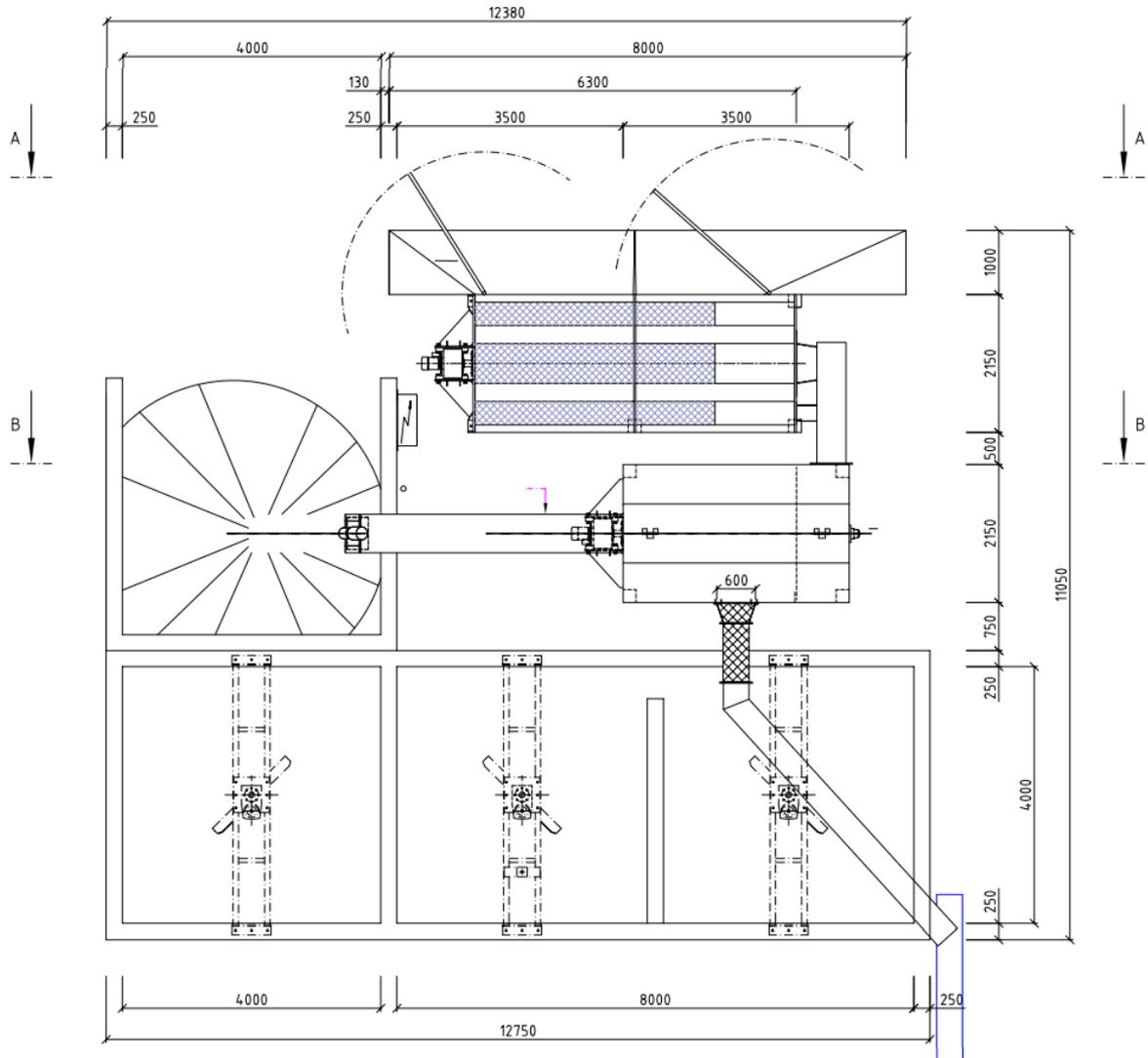


Ilustración 14. Vista superior reciclador con agitadores. Fuente Bibko.

5.3 Estudio legal y administrativo

Existen gran variedad de indicaciones legales nacionales e internacionales que pueden ser aplicadas a este proyecto, abarca diferentes certificaciones que benefician a los clientes y a la empresa, como las normativas para el uso de lechada de diferentes países. Se realizó un resumen de las más relevantes, estas son:

El compromiso con el cuidado del medio ambiente en arquitectura implica el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones sustentables. Para asegurar el cumplimiento de estas exigencias nos guiamos por los estándares de "Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental" o **LEED** en inglés, un programa de certificación con reconocimiento internacional. La construcción de edificios

consume muchos recursos y genera una gran cantidad de residuos, por lo que el programa premia la buena administración de estos, así como su producción y transporte responsable. También se fomenta el reciclaje y la reutilización.

Existen diversos programas para la **gestión del cambio climático**, con una planta recicladora, se pueden reducir las emisiones de CO₂, estas son provenientes de la sumatoria de energía necesaria para la extracción, proceso y transporte a planta de las materias primas, más la energía puesta en juego para manejo, proceso y evacuación de los residuos, menos la energía necesaria para su reciclado. Al final, la comparación entre el consumo y el ahorro en el funcionamiento de una planta de reciclaje da como resultado el ahorro ecológico. Este expresa qué cantidad de CO₂ menos se emite al medio ambiente.

La **ISO 14001**, norma de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) permite que las empresas puedan demostrar que son responsables y están comprometidas con la protección del medio ambiente. Esto se consigue a través de la gestión de los riesgos medioambientales que puedan surgir con el desarrollo de la actividad empresarial. Que una empresa se encuentre certificada mediante la norma ISO-14001, demuestra que la responsabilidad que ha tomado una empresa con el medio ambiente la está cumpliendo, demostrando a otras empresas su compromiso y a los gobiernos. Esto mejora su imagen respecto a la competencia.

Por otra parte, el gobierno promueve la compra de equipos como el reciclador de concreto propuesto, el **Artículo 255 del Estatuto Tributario** determina el descuento para inversiones realizadas en control, conservación y mejoramiento del medio ambiente. Este establece que las personas jurídicas que realicen directamente inversiones en control, conservación y mejoramiento del medio ambiente, tendrán derecho a descontar de su impuesto sobre la renta a cargo el 25% de las inversiones que hayan realizado en el respectivo año gravable, previa acreditación que efectúe la autoridad ambiental respectiva, en la cual deberá tenerse en cuenta los beneficios ambientales directos asociados a dichas inversiones. .

La eliminación de los escombros por los residuos de concreto impacta directamente en la regulación del **Manejo integral de los escombros** en las obras públicas y privadas. En el año 2009 el Concejo de Medellín expidió el Acuerdo número 62, por medio del cual se establece una política pública para la gestión de escombros en la ciudad de Medellín, y en el año 2013 este acuerdo se reglamentó bajo el decreto 1609.

Finalmente, se mencionan las normas que delimitan el uso de lechada para la producción de concreto.

La **NTC 3459** (ICONTEC, 2001) la cual reglamenta el agua para elaboración de concreto dicta en el numeral 2.1.2 que el agua de lavado proveniente de la operación de limpieza de las mezcladoras o de las zonas de almacenamiento de materias primas, se puede usar para la fabricación de concreto siempre que los ensayos cumplan el ensayo de resistencia y el tiempo de fraguado inicial. No especifica nada al respecto de la cantidad de sólidos que puede tener la lechada para ser apta para producción, por lo tanto se consultó normatividad extranjera.

La Norma **IRAM 1601:2012** (Argentina) define el agua para elaborar concreto el agua potable, agua recuperada de procesos de la industria del concreto, fuentes subterráneas, de lluvia, superficial natural, residuales industriales, de mar o salobre y con reemplazo parcial. Estas se consideran aptas siempre y cuando cumplan con la verificación por ensayo y la característica químicas decretadas. Además, indica que los residuos sólidos del agua recuperada de procesos de la industria del concreto deben tener máximo 50.000 mg por litro de sólidos, como lo es los agregados finos del concreto (ICPA, 2014).

La norma **EN 1008-2002** (España) Agua para mezcla de concreto, especifica en el Anexo A los requisitos para el uso de agua recuperada de procesos en la industria del concreto. En ella se estipula que la lechada o el agua combinada (lechada con agua de otra fuente) se pueden usar como agua de mezcla para concreto con o sin refuerzo, siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

- 1) La masa adicional de material sólido en el concreto resultante del uso de agua recuperada de procesos en la industria del concreto debe ser inferior al 1% (m / m) de la masa total de agregados presentes en el concreto.
- 2) Se debe tener en cuenta la posible influencia del uso de esta agua si existen requisitos especiales para el concreto a producir (BRITISH STANDARD, 2002).

5.4 **Estudio financiero**

Para evaluar la viabilidad financiera del proyecto, se recolectó información al respecto de los costos de producción directos e indirectos, volúmenes de producción, toneladas de escombros, entre otros datos relevantes, de diferentes fuentes donde se encontró que las plantas Medellín y Guayabal tienen costos y volúmenes de operación muy similares, esto se debe a que su

diseño y capacidad productiva son semejantes. Por lo tanto, el flujo realizado puede ser aplicado para ambas con diferencias muy mínimas en los costos de implementación, además, si se realiza la importación de más de un equipo al tiempo se podrán obtener costos más bajos que deber ser revisados más detalladamente.

El flujo consta de tres partes principales, los ahorros incluyen primordialmente el impacto sobre la materia prima recuperada y todas las operaciones o gastos en los que se dejaría de incurrir para tratar los desechos de concreto de la forma en la que se realiza actualmente, o sea utilizando plantas de tratamiento de agua residual (PTAR).

La segunda parte trata la inversión que se debe realizar, abarcando la compra de los equipos, la importación, impuestos, fletes para el transporte interno y obras necesarias para la adecuación de la planta, hasta las conexiones para dejar la planta operando de forma satisfactoria.

Posteriormente, se divisan todos los costos de operación para mantener la inversión y los equipos de forma correcta. Los datos recolectados abarcan todo el año 2017 hasta octubre de 2018.

Para cada año del horizonte de evaluación, se aplicó una inflación para simular la variación de los precios del mercado. Además, a los datos correspondientes a cantidades como las materias primas, se les aplicó un crecimiento en las ventas moderado para estimar el desarrollo de la empresa. Finalmente, se consideró jornadas de trabajo de 7 horas al día, por 25 días al mes en un periodo de 10 años. El flujo financiero se encuentra en el Anexo 2.

5.4.1 Ahorros

Los ahorros más significativos en el flujo corresponden a los relacionados con la materia prima, se calcularon tomando el promedio de escombros de los dos años y se estimó la cantidad de finos y gruesos correspondientes según lo hallado en un estudio granulométrico que se realizó para identificar la composición de dichos desechos. Luego, se obtuvo el ahorro en materia prima multiplicando la cantidad de finos y gruesos recuperados por el precio de la tonelada para cada material.

Al recuperar el 100% del concreto de desechos, se eliminan los residuos generados por la gestión de estos, por lo tanto, el transporte de los escombros

y las actividades relacionadas con el cargador, generan ahorros directos en el flujo. El cargador podrá ser utilizado para las demás actividades de la empresa para las que son necesarias, esto beneficia mucho la operación porque en varias plantas el operario se queja que no alcanza el tiempo para cumplir con todas las tareas asignadas como abastecer las tolvas, limpiar los lodos, entre otras. Además, la disminución de los mantenimientos de los cargadores asociados a la operación de la PTAR son un beneficio directo, debido a que cuando el cargador entra en las piscinas para realizar la limpieza, los lodos afectan las partes mecánicas de este; Anteriormente se han registrado mantenimientos en 2 cargadores de la empresa hasta por \$400.000.000, este costo no está incluido en el flujo porque no está medido por la empresa de forma estandarizada.

Otro ahorro es el tiempo de lavado de la mixer, en la PTAR el tiempo de lavado no está controlado y los operarios pueden dedicar un lavado únicamente interno del camión o un lavado completo incluyendo el exterior; El tiempo de lavado es sumamente variable por lo tanto no se pudo establecer la duración exacta de la actividad, se estimó 8 minutos de acuerdo a lo conversado con los conductores. El BIBKO, siempre y cuando sea operado por un auxiliar capacitado, organiza toda la operación de lavado de ollas de mixers, esa persona es el responsable en los tiempos de entrada y salida, donde la experiencia indica que el lavado común en un BIBKO no lleva más de 5 minutos. El tiempo ganado en la operación significa ganancia en el tiempo efectivo de producción. Para este escenario se consideró sólo un lavado al día, pero los camiones pueden estar lavando entre 2 y 3 veces dependiendo de las condiciones de la producción y las cantidades devueltas en las ollas.

Existe un dato no cuantificado e informal que afecta el costo de la PTAR pero que no se incluye en el flujo debido a la falta de información al respecto, este consiste en que cuando los lodos no han secado lo suficiente para ser cargado a las volquetas que los llevan a las escombreras, muchas veces combinan arena de la producción para disminuir la humedad que tienen los desechos, la cantidad de la arena botada es ajustada en el inventario para mitigar el costo de esta.

Según el proveedor del equipo, muchas empresas que han instalado esta solución, han tenido disminuciones significativas en agua. Esto no pudo ser medido para Argos ya que no se pudieron identificar las cantidades de agua que se podrían ahorrar. Además, el costo del agua es muy variable por las diferentes fuentes de agua como lluvia, concesiones y acueducto.

Para finalizar esta sección, existen ahorros intangibles para la empresa, la disminución de la huella de carbono, alcanzar certificaciones y reconocimientos ambientales, el cumplimiento de condiciones de operación ambiental por clientes, la imagen de la empresa como empresa con responsabilidad ambiental, entre otros beneficios, son factores que contribuyen a la empresa pero su beneficio no puede ser fácilmente cuantificado, aunque van en concordancia con las políticas que establece Argos.

5.4.2 Inversión

La información otorgada por el proveedor sobre el costo de las unidades fue tomada de los equipos comprados para las plantas de Bello y Barranquilla, cabe aclarar que, como se mencionó anteriormente, los recicladores son diseñados acorde a las necesidades de cada planta, por lo que las condiciones de estos pueden variar, aunque su valor no se vería afectado significativamente.

El costo de los equipos incluye el Comtec 30 y el Upgrade especificados en la sección 5.2.2. Estos se entregan FOB en el puerto Antwerpen, Bélgica. El costo está dado en euros y se tomó la tasa a pesos el día 11 de diciembre de 2018. Los costos del transporte desde el lugar de entrega hasta planta, fueron tomados de los recicladores comprados anteriormente, incluye los Aranceles, la comisión de aduana, los fletes, la operación portuaria y las preinscripciones. Además, se toma un valor para otros donde entran los almacenamientos y cualquier otro gasto no especificado en los anteriores. De igual forma, los costos de las obras civiles y el conexión de la planta se toman de los proyectos pasados. Para todos estos valores, se realizó un ajuste según la inflación para acercarlos a los valores vigentes para este año.

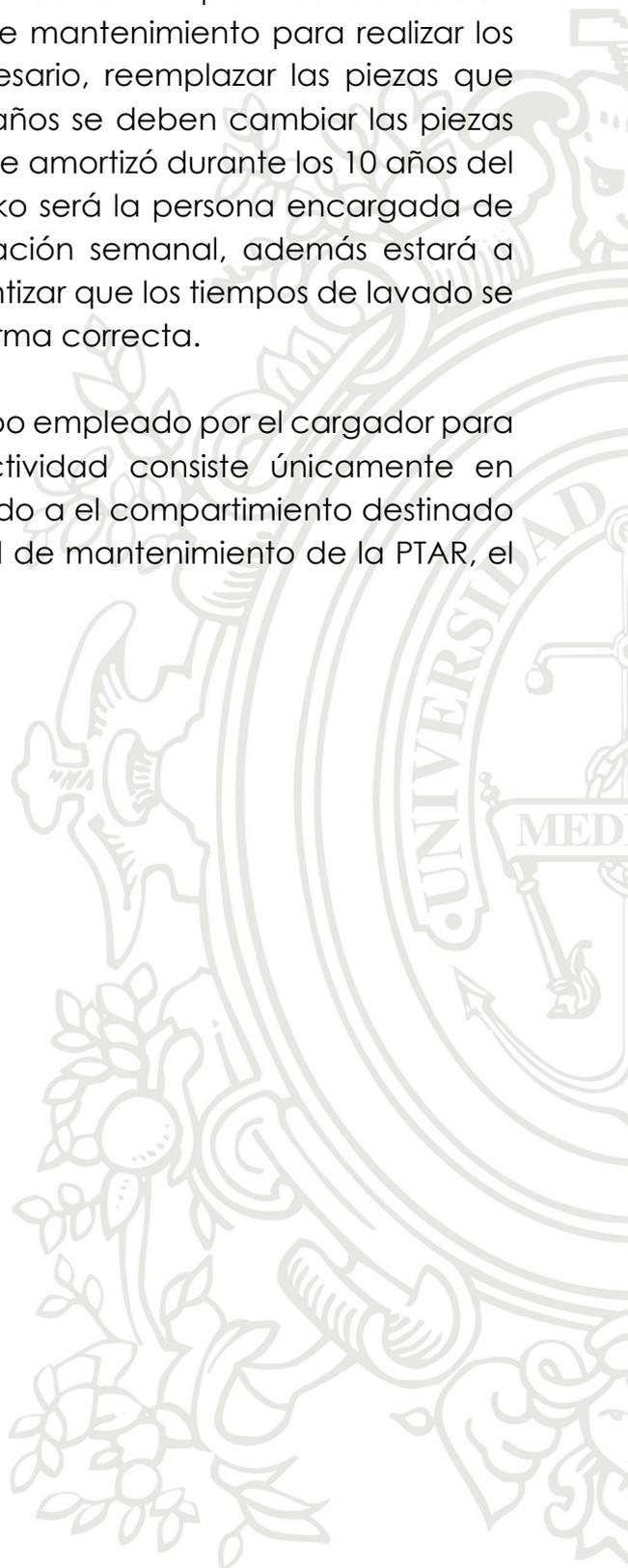
El IVA corresponde al 19% según la reforma tributaria de 2016. Según el Artículo 255 del Estatuto Tributario, se aplicará un descuento correspondiente al 25% de la inversión final para poner el equipo en marcha.

5.4.3 Operación

Según las especificaciones de los equipos, estos tienen un consumo de 24,3 kW por hora, en la jornada de 7 horas. El costo de la energía se tomó de lo pagado en los servicios dividido el consumo de la planta, para todas las plantas los el precio del kW es muy similar, por lo tanto se tomó un promedio.

El proveedor indicó que en el sostenimiento del equipo se usa grasa y aceite, al año ajusta 5 Kg y 20L respectivamente al realizar un plan de lubricación semanal. Además, se requiere un técnico de mantenimiento para realizar los trabajos preventivos y en caso de ser necesario, reemplazar las piezas que presenten daños. Estadísticamente, a los 4 años se deben cambiar las piezas afectadas por el desgaste, el valor de estos se amortizó durante los 10 años del horizonte de evaluación. El operario del Bibko será la persona encargada de realizar el mantenimiento diario y la lubricación semanal, además estará a cargo de la operación del mismo para garantizar que los tiempos de lavado se respeten y que el equipo sea operado de forma correcta.

Los costos de operación finalizan con el tiempo empleado por el cargador para organizar el patio de agregados esta actividad consiste únicamente en desplazar las cantidades de material reciclado a el compartimiento destinado para este. En comparación con la actividad de mantenimiento de la PTAR, el tiempo es significativamente menor.



6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el estudio de mercado se encontró que la empresa presenta la necesidad de evaluar la forma en la que se realiza actualmente la gestión del concreto fresco de desecho, debido a que las plantas incurren en altos costos por el funcionamiento y mantenimiento de la PTAR. Entre las alternativas para realizar este proceso, se halló que el reciclaje del concreto en fresco es la más viable ya que los materiales recuperados pueden ser utilizados en un 100% para los procesos productivos de nuevo concreto, a diferencia de las demás alternativas que son más restrictivas en las aplicaciones de sus derivados. En Argos, aunque se tienen recicladores en diferentes plantas, la recuperación no se hace al 100% ya que la lechada procedente del reciclador es enviada a la PTAR para sedimentar los finos que contiene, generando así lodos que deben ser procesados.

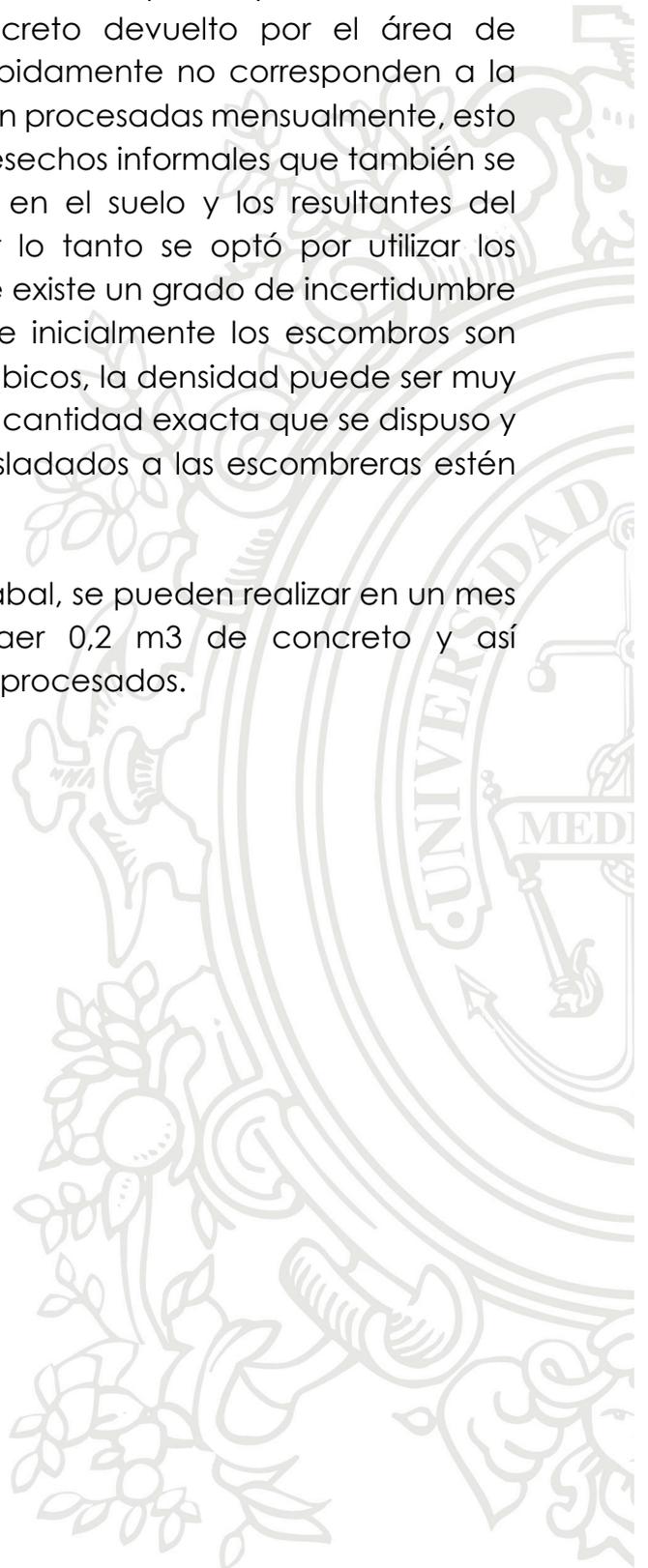
Esta opción implica utilizar la lechada del reciclador para elaborar nuevo concreto, por lo que se requirió, en el estudio técnico, un diseño experimental que pretendía corroborar que el reemplazo del agua por lechada no afectaría las características físico-químicas del concreto. Los ensayos, aunque presentaron curvas de comportamiento ilógicas, todos cumplieron con las resistencias especificadas para cada tipo de concreto. Aun así, se recomienda hacer un número mayor de ensayos para obtener una mayor confiabilidad del estudio y así determinar el ahorro potencial de cemento en la nueva mezcla. Corroborando la viabilidad del material, se prosiguió a determinar los equipos necesarios según las necesidades de las plantas y la ubicación de estos.

Una de las características que debe cumplir la lechada de producción es la cantidad de sólidos en el agua o la densidad de esta. Desde la perspectiva administrativa y legal, la NTC 3459 (ICONTEC, 2001) indica que el agua de lavado proveniente de la operación de limpieza de las mezcladoras se puede usar para la fabricación de concreto siempre que cumpla los ensayos indicados, pero no especifica nada al respecto de los sólidos permitidos. Por esto se remitió a normatividad extranjera donde en Argentina la norma IRAM 1601:2012 permite para este tipo de agua hasta 50.000 mg/l, mientras que en España la 1008-2002 lo permite siempre y cuando la masa adicional de sólidos sea inferior al 1% (m/m) de la masa total de agregados presentes en el concreto.

Los beneficios y costos monetarios para llevar a cabo el proyecto fueron cuantificados en el estudio financiero, donde se encontraron múltiples ahorros

que no pudieron ser cuantificados debido a la dificultad para contabilizarse o porque no existe un valor monetario que los representara de forma tangible. Para determinar el volumen de material a reciclar se optó en primera instancia tomar las cantidades reportadas de concreto devuelto por el área de despacho, pero los que son informados debidamente no corresponden a la cantidad de toneladas de escombros que son procesadas mensualmente, esto se debe a que hay una gran cantidad de desechos informales que también se vierten a la PTAR, incluyendo los regueros en el suelo y los resultantes del laboratorio que no son contabilizados. Por lo tanto se optó por utilizar los escombros transportados cada mes, aunque existe un grado de incertidumbre en el verdadero material a reciclar, ya que inicialmente los escombros son registrados por toneladas y no por metros cúbicos, la densidad puede ser muy variable por lo que no se logra determinar la cantidad exacta que se dispuso y no se garantiza que al momento de ser trasladados a las escombreras estén totalmente secos.

Se estimó que para una planta como Guayabal, se pueden realizar en un mes 1.700 viajes, en cada uno se puede traer 0,2 m³ de concreto y así correspondería a la cantidad de escombros procesados.



7 CONCLUSIONES

La viabilidad técnica se verificó por medio de los ensayos realizados donde se reemplazada en diferentes porcentajes el agua del concreto por lechada del reciclador. Los resultados encontrados indican que la resistencia cumple con los valores esperados según la NTC, aunque los comportamientos de las curvas no fueran los esperados. Se deben realizar nuevos estudios donde se dispongan completamente los recursos para evitar que variables no controladas de forma adecuada afecten los resultados.

Aunque la normatividad Colombiana no regula la cantidad de solidos en el agua para la lechada, se asume que la variabilidad de estos pueden afectar los resultados de las pruebas, por lo tanto, queda abierto para futuros estudios evaluar los efectos de la densidad de la lechada en las diferentes pruebas y así encontrar la que mejor se ajuste a las necesidades de la empresa.

Financieramente, se encontró el proyecto viable ya que el valor presente neto es de \$ 804.469.790, este criterio de aceptación indica que si el VPN es superior a cero, el proyecto es rentable. Por otro lado, la TIR dio como resultado 42%, al comparar con la tasa de descuento utilizada para la evaluación de proyecto del 15%, la cual proporcionó el área de financiera, el proyecto es económicamente viable para la empresa. El periodo de recuperación de la inversión es menor a 3 años.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANEFHOP. (Diciembre de 2007). Residuos procedentes de la fabricación de hormigón preparado. *Ficha técnica*. Madrid, España.
- ARGOS. (2017). *Concreto- Argos Corporativo*. Obtenido de <https://www.argos.co/Productos/Concreto>
- ARGOS. (2017). *Contexto - Argos*. Obtenido de <https://www.argos.co/Acerca-de-Argos/Contexto>
- ARGOS. (2017). *Estrategia y política de sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.argos.co/Sostenibilidad/Estrategia-y-Política-de-Sostenibilidad>
- Argos. (Marzo de 2018). Cemento uso concretero. *Ficha técnica*. Colombia.
- Bravo, a. d. (17 de Abril de 2017). ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO. *Construcción y tecnología en concreto*.
- BRITISH STANDARD. (10 de Diciembre de 2002). Mixing water for concrete — Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete.
- Consejo Mundial Empresarial Para El Desarrollo Sostenible. (Julio de 2009). *Reciclando Concreto*. Geneva, Suiza.
- DANE. (2018). *Estadísticas de concreto premezclado (EC)*. Bogotá.
- Economía y Negocios. (24 de Abril de 2018). Construcción volvería a crecer solo hasta el 2019. *El Tiempo*.
- EL CONGRESO DE COLOMBIA. (19 de 12 de 2018). Ley No.1259. Bogotá, Colombia.
- GRECO. (2017). *Acerca de nosotros*. Obtenido de Granulados Reciclados de Colombia: <https://www.recicladogreco.com/>
- ICONTEC. (15 de Septiembre de 1999). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 385. *Ingeniería civil y arquitectura. Terminología relativa al concreto y sus agregados*. Bogotá D.C, Colombia.
- ICONTEC. (21 de Junio de 2000). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 174. *Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto*. Bogotá D.C, Colombia.
- ICONTEC. (27 de Febrero de 2008). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3318. *Producción de concreto*. Bogotá D.C, Colombia.
- ICONTEC. (31 de Octubre de 2001). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3459. *Concreto. Agua para la elaboración de concreto*. Bogotá D.C, Colombia.
- ICPA. (Noviembre de 2014). Congreso Argentino de de vialidad y tránsito. Buenos Aires, Argentina.
- innovaconstructionssystem. (2018). *Legoblock*. Obtenido de Construye con Legoblock.: www.legoblock.com.mx
- Lobo, C., & Mullings, G. M. (2003). Recycled water. *Concrete in focus*.
- Ministerio de Comercio Exterior. (2010). *Manual para la elaboración de planes de negocio*. Bogotá, Colombia.

Porter, M. E. (Enero de 2008). Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia. *America Latina: Harvard Business Review*.

Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (Vol. 6).

Sika®. (02 de 12 de 2016). Sika® ViscoFlow® 3000. *Product Data Sheet*.

Sika®. (Septiembre de 2014). Concreto. *Aditivos para concreto*.

Thomas, M. (2010). *Recycled Water*. U of New Brunswick.

