



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS
DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES EN LAS PLANTAS DE
CONCRETO PREMEZCLADO Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE**

Carlos Enrique Sandoval Sandoval

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Sican Marroquín

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS
DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES EN LAS PLANTAS DE
CONCRETO PREMEZCLADO Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ENRIQUE SANDOVAL SANDOVAL

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO SICAN MARROQUÍN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic Garcia
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Edgar Fernando Aragón Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Tobar Jiménez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES EN LAS PLANTAS DE CONCRETO PREMEZCLADO Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 10 de febrero de 2011.

Carlos Enrique Sandoval Sandoval

Guatemala, 07 de Octubre 2015

Ingeniero
Hugo Montenegro Franco
Director
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable señor Director,

Por este medio, hago constar que como asesor del estudiante universitario Carlos Enrique Sandoval Sandoval, quien se identifica con el carné número 91-12940, procedí a realizar la revisión del documento final "**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES EN LAS PLANTAS DE CONCRETO PREMEZCLADO Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE**". Después de haber realizado las observaciones y correcciones pertinentes, doy por **APROBADO** el siguiente trabajo ya que considero cumple con los requisitos reglamentarios para que continúe el proceso por parte de la Escuela de Ingeniería Civil, por tal razón, lo remito y pongo a su consideración.

Agradeciendo la atención a la presente.

Atentamente,

"D Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. JORGE MARIO SICAN MARROQUIN
ASESOR DE TESIS
Colegiado No. 5829

Jorge Mario Sican Marroquin
INGENIERO CIVIL
COI 5829



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
30 de agosto de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES EN LAS PLANTAS DE CONCRETO PREMEZCLADO Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Enrique Sandoval Sandoval, quien contó con la asesoría del Ing. Jorge Mario Sican Marroquín.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento
Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4758



/bbdeb.



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Jorge Mario Sican Marroquín y del Coordinador del Departamento de Planeamiento, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Enrique Sandoval Sandoval, titulado **MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES EN LAS PLANTAS DE CONCRETO PREMEZCLADO Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Hugo Leonel Montenegro Franco
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2015

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES EN LAS PLANTAS DE CONCRETO PREMEZCLADO Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Enrique Sandoval Sandoval**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por las bendiciones que ha derramado en mi vida, dándome la sabiduría para actuar y salir adelante.

Mis padres

Roberto Enrique Sandoval Nájera (q. e. p. d.), por ser inspiración en mi vida y ejemplo de trabajo honesto y dedicado. Papá, siempre te llevo en mi corazón y tengo mucha fe en que este día te llenarás de orgullo en el cielo. Dina Osbelia de Sandoval, por su apoyo incondicional. Amados padres, gracias a su amor y esfuerzos he logrado culminar mi carrera profesional; mi eterno agradecimiento por el ejemplo de amor y valores que me han brindado, en mi mente sus palabras de aliento continuaran vivas por siempre.

Mi esposa e hijas

Arlyn Xiomara Escobar de Sandoval, esposa y compañera inseparable, fuente de motivación y ejemplo templanza y dulzura; has sido un bastión en mi vida. Mis hijas Adriana Isabel, Gabriela Mayté y María Fernanda Sandoval Escobar, mis grandes amores a quienes me debo por completo, han sido lo mejor que Dios

me ha dado para seguir adelante, gracias por ser tan especiales, las amo.

Mis abuelos

Por sus consejos, su amor y por estar siempre pendientes para mi crecimiento.

Mis hermanos

Zuly Mayté y Alex Roberto Sandoval, por estar siempre conmigo, les agradezco el haber compartido momentos inolvidables en mi vida, sigan adelante y cuenten con mi apoyo.

Mis familiares

Mis tíos y primos por sus sabios consejos, aportes y experiencias, con cariño les recuerdo en todo momento, han sido ejemplo importante para mí.

Mis amigos

Tantos amigos y compañeros que es imposible mencionar, con especial aprecio a Eduardo Rivera, Héctor Foronda, Victor Bal, Jorge Sican, Pompilio Gonzalez, Romeo Montoya, Jorge Mario Godoy, Ronald Matías, por compartir mi camino y desarrollo personal, en mi mente tantas anécdotas que siempre recordaré de su valiosa amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

Ingeniero Jorge Sican	Por tu apoyo y orientación en mi trabajo de graduación, tus palabras de ánimo siempre estuvieron presentes.
Licenciado Manuel Guillen	Quedo altamente agradecido por su dedicación en la revisión de mi trabajo de graduación.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el centro de estudio universitario que me permitió adquirir el mejor nivel académico gracias a su diversidad.
Facultad de Ingeniería	Por ser la base de mi formación académica y hacer de mí un ingeniero preparado para enfrentar la vida.
Mixto Listo	Empresa que me ha permitido crecer y desarrollarme profesionalmente, sus directivos siempre me brindaron su apoyo y confianza.
Mis profesores	Desde la infancia, he sido afortunado al contar con sus conocimientos, les debo tanto en mi formación.

Gracias a todos por ser parte de mi éxito

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO EN GUATEMALA	1
1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.2. Marco teórico.....	3
1.2.1. Descripción general del proceso de producción de concreto premezclado	3
1.2.2. Tipos de plantas productoras de concreto.....	7
2. IDENTIFICAR LAS CAUSAS QUE INFLUYEN EN LA GENERACIÓN DE LOS DESECHOS Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE	11
2.1. Proceso de producción	11
2.1.1. Reproducción del diseño	11
2.1.2. Inspección de la mezcla	13
2.1.3. Toma de muestras en planta	15
2.2. Transporte y manejo del concreto	16
2.2.1. Inspección de los camiones mezcladores	16
2.2.2. Demoras en la entrega	17
2.3. Cambio en las especificaciones	18

2.3.1.	Alteración del concreto en obra.....	18
2.3.2.	Despacho de mezcla equivocada.....	19
2.4.	Planeación inadecuada.....	19
2.4.1.	Colocación.....	19
2.4.2.	Equipo utilizado	21
2.5.	Impacto ambiental generado por los desechos sólidos y aguas industriales en el proceso de mezclado y limpieza	23
2.5.1.	Contaminación del suelo	24
2.5.2.	Contaminación de las fuentes de agua	24
2.5.2.1.	Aguas residuales.....	24
3.	PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS.....	27
3.1.	Descripción	27
3.2.	Manejo del concreto devuelto o rechazado.....	28
3.2.1.	Alternativa para reutilización	29
3.2.1.1.	Moldes para fabricación de elementos no estructurales	29
3.2.2.	Ensayos a productos reciclados.....	31
3.2.2.1.	Muestras.....	32
3.2.2.2.	Procedimiento	34
3.2.2.3.	Cálculos.....	38
3.3.	Manejo del concreto residual	39
3.3.1.	Sistemas mecánicos	40
3.3.1.1.	Tipos de recicladores	42
3.3.2.	Diseño de sistemas no mecánicos.....	46
3.3.2.1.	Diseño de las pilas de lavado.....	47

4.	PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS INDUSTRIALES	51
4.1.	Descripción.....	51
4.2.	Manejo del agua industrial (premezclado de concreto)	52
4.2.1.	Análisis del agua.....	54
4.2.2.	Reutilización del agua para hacer concreto premezclado	60
4.2.2.1.	Efecto de los químicos en el concreto premezclado	62
4.2.3.	Reciclado para uso en lavado.....	65
5.	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA REUTILIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES	69
5.1.	Costos asociados al manejo de los desechos sólidos y aguas industriales	69
5.2.	Costos para un sistema no mecánico.....	72
5.3.	Costos para un sistema mecánico.....	73
5.3.1.	Materiales y suministros	77
5.3.2.	Equipo	79
5.3.3.	Mano de obra.....	80
5.3.3.1.	Mano de obra calificada.....	80
5.3.3.2.	Mano de obra no calificada.....	82
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	APÉNDICE.....	91
	ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planta móvil dosificadora de concreto.....	4
2.	Planta dosificadora con mezclador central.....	5
3.	Proceso de fabricación de concreto premezclado.....	6
4.	Planta dosificadora portátil.....	9
5.	Condición de humedad de los agregados.....	13
6.	Inspección de camión en planta.....	14
7.	Prueba de asentamiento en planta.....	15
8.	Imagen interior de un camión mezclador.....	17
9.	Descarga directa de concreto.....	20
10.	Equipos estacionarios de bombeo.....	21
11.	Equipo telescópico o pluma.....	21
12.	Equipo móvil de bombeo o camión bomba.....	22
13.	Equipo de alisado y texturizado.....	22
14.	Equipo de vibración externa.....	23
15.	Instalación de bloques en aldea El Aguacate.....	30
16.	Utilización de bloques en parque recreativo.....	31
17.	Medición del diámetro de un espécimen.....	32
18.	Chequeo de la perpendicularidad.....	33
19.	Chequeo de planicidad.....	33
20.	Medición de la longitud del cilindro.....	34
21.	Mantener la humedad del espécimen.....	35
22.	Colocación del espécimen en la máquina de ensayos.....	36
23.	Registro del tipo de falla.....	37

24.	Diagrama esquemático de los patrones típicos de la fractura	39
25.	Sistema de recuperación de agregados	41
26.	Cilindro de rotación marca Haahjem.....	42
27.	Tambor tipo batea marca Schiwng	43
28.	Tornillo sinfín sistema KSW	43
29.	Sistema alemán BIBKO	44
30.	Vista en planta de sistema de reciclado BIBKO.....	45
31.	Recicladora Six-Shooter Reclaimer BFK	45
32.	Diseño de pilas de lavado de camiones mezcladores	48
33.	Reúso del agua captada en las pilas de lavado.....	67
34.	Sistema BFK Six- Shooter	79

TABLAS

I.	Descripción del proceso de dosificación.....	6
II.	Normas aplicables en la inspección del concreto en planta	14
III.	Parámetros permisibles para el manejo de lodos.....	28
IV.	Tolerancia permisible de tiempo de ensayo	34
V.	Factor de corrección L/D Norma ASTM C39	37
VI.	Rango aceptable en fuerza individual de cilindros	38
VII.	Parámetros y límites máximos permisibles para reúso	52
VIII.	Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores	59
IX.	Límites establecidos por la ASTM C94 o AASTHO M157	61
X.	Análisis típico del agua de abastecimiento de ciudades y agua de mar	62
XI.	pH del agua escala de acidez y alcalinidad.....	63
XII.	Contenido de iones de coluro presentes en el agua de mezcla	64
XIII.	Consumo estimado de agua para una planta de concreto	66

XIV.	Producción anual de distintas plantas por grupos	72
XV.	Datos de planta tipo mediana	74
XVI.	Proporción de materiales recuperados	74

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballos de Fuerza (<i>horse power</i>).
\$	Dólar Estadunidense.
ACI	Instituto Americano de Concreto (American Concrete Institute).
Kn	Kilonewton.
L/D	Levante - Arrastre (<i>lift drag</i>).
°C	Grado Centígrado o Celsius.
+/-	Más menos.
m ²	Metro cuadrado.
m ³	Metro cúbico.
MI/L	Mililitro.
Mm	Míímetros.
MPa/s	Milipascal por segundo.
No. o #	Número.
'	Pie.
UHMW	Polietileno de ultra alto peso molecular.
pH	Potencial de hidrógeno.
%	Porcentaje.
Pulg o “	Pulgada.
Q	Quetzal.
Rpm	Revoluciones por minuto.
PSI	Libra por pulgada cuadrada (<i>pounds per square inch</i>).

μm

Millonésima parte de un metro (micrómetro).

VCA

Voltios corriente alterna.

GLOSARIO

Aglomerantes	Materias capaces de unir fragmentos de una o varias materias y dar cohesión al conjunto, por efectos exclusivamente físicos originando nuevos compuestos.
Alcalinidad	Capacidad ácido neutralizante de una sustancia química en solución acuosa, cuando existen pH arriba de los permisibles los vuelve infértiles.
Coagulante	Sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación.
Cohesión	Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí o la materia de que están formadas.
Coliformes fecales	Microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama <i>Escherichia coli</i> y se transmiten por medio de los excrementos.
Coloides	Partículas de muy bajo diámetro que son responsables de la turbidez o del color del agua superficial.

Concreto	Material de construcción formado por la mezcla adecuada de piedra caliza (o cantos rodados), arena, agua, cemento y algún tipo de aditivo, el cual tiene la propiedad de resistir notablemente a la compresión después que se seca, fragua o endurece.
Concreto premezclado	Se llama así al concreto que se prepara en una planta dosificadora o en una planta con mezclador central y que se transporta y suministra directamente a la obra en camiones premezcladores, en estado fresco.
Cumbo	Nombre que también se le ha dado en Guatemala al recipiente mezclador de los camiones que transportan concreto.
Decantación	Método mecánico de separación de mezclas heterogéneas, estas pueden estar formadas por un líquido y un sólido o por dos líquidos.
Efluentes	Aguas servidas o aguas residuales tras haber pasado por un período de tratamiento.
Especímen	Muestra o ejemplar.
Floculantes	Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.

Hidróxido sódico	También conocido como soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria, por lo general al 50 %, en aguas residuales como control de los pH.
Insoluble	Que no se puede disolver.
Low boy	Remolque especial para traslado de maquinaria o equipo, el cual es halado por cabezales o comúnmente conocidos como tráiler.
Mortero	Masa compuesta de aglomerante (cal, yeso, cemento), arena y agua, que fragua o endurece en un cierto tiempo y se utiliza en la construcción. Interpuesta entre los ladrillos, sillares, etcétera, sirve para darles cohesión, se emplea también para revocar paredes y en la elaboración de pavimentos.
Oleosa	Sustancias que son muy grasas o aceitosas.
Pétreos	Materiales inorgánicos, naturales o procesados por el hombre que derivan de la piedra o poseen una calidad similar a la de esta, siendo usados casi exclusivamente en el sector de la construcción.
Polietileno	Es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva $(-CH_2-CH_2)_n$. Es uno de los plásticos más comunes.

Polímero	Macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas.
Prueba de asentamiento	Permite evaluar la capacidad del concreto para adaptarse con facilidad al encofrado que lo va a contener.
Solubilidad	Cualidad de soluble (que se puede disolver). Se trata de una medida de la capacidad de una cierta sustancia para disolverse en otra.
Solución acuosa	Reacciones que tienen lugar a nuestro alrededor donde se involucran sustancias disueltas en agua y utilizan esta como medio de reacción.
Tambor	Recipiente donde se hace mezclado de concreto, el cual puede estar colocado en camiones o en terreno (también conocido en Guatemala como cumbo).
Temperatura ambiente	Es la temperatura que se puede medir con un termómetro y que se toma del ambiente actual.
Terraplén	Es toda aquella tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para desarrollar una obra. Asimismo, lugar donde se depositan residuos (ripio).

RESUMEN

El proceso de concreto premezclado en Guatemala se ha venido desarrollado desde hace mucho tiempo, a partir del auge de la industria del cemento, pero al igual que otros procesos, estos deben irse modernizando y haciendo más eficientes, derivado a múltiples factores que van generando desechos sólidos y líquidos, que provocan impactos negativos en el ambiente si no se consideran las medidas de mitigación adecuadas; en tal sentido, el presente trabajo enmarca de manera general cómo es la producción de concreto premezclado hasta su destino final de utilización y las causas que provocan desechos, así como las medidas a tomar.

Basados en normativas, guías y otros procedimientos, se hace un análisis del proceso de producción de concreto premezclado, del tipo de plantas productoras que se pueden encontrar y cuáles son las más comunes, se identifican las causas que generan desechos y los probables impactos en el ambiente, por la producción del concreto premezclado, su transporte, manejo, cambios de especificaciones que se pueden dar de manera inadecuada, si la planificación no es secuencial, en los tiempos establecidos, el equipo adecuado y otros; todos estos factores pueden llegar a provocar efectos negativos en el ambiente, generando desechos sólidos o líquidos, llegando a contaminar el suelo y a las fuentes captadoras de aguas residuales.

En este contexto, el punto medular del presente trabajo, es el de identificar los impactos ambientales que puede provocar el proceso de concreto premezclado y la limpieza de los camiones, asimismo, presentar medidas que pueden minimizar dicho impacto; para el efecto, se desarrolla una planificación

de las medidas de mitigación, en primer término de los desechos sólidos, desarrollando una descripción de los factores que lo provocan, su manejo, del ensayado a través de muestras de productos reciclados, de su manejo residual, a través de sistemas no mecánicos y mecánicos, con el objeto de presentar alternativas que resuelvan el impacto al ambiente.

Por otro lado, se encuentra la planificación de medidas de mitigación de los desechos líquidos, provocados por el proceso de premezclado o el lavado de los camiones transportadores, para el efecto, el documento hace un análisis de las aguas residuales, con el objeto de determinar los grados de contaminación y las medidas necesarias para evitar impactos en afluentes captadores de estas; por último, un análisis de costos que representa la reutilización de los desechos tanto sólidos como líquidos.

OBJETIVOS

General

Buscar soluciones rentables para el manejo de los desechos sólidos y aguas industriales del concreto premezclado reduciendo su impacto en el ambiente.

Específicos

1. Identificar las causas que influyen en la generación de desechos sólidos provenientes de la industria del concreto premezclado.
2. Proponer medidas de mitigación ambiental para el aprovechamiento de los desechos industriales del concreto premezclado.
3. Hacer un análisis de costo-beneficio de las ventajas que representa el aprovechar estos desechos como una fuente de materias primas reutilizables para la fabricación de concreto y otros productos.

INTRODUCCIÓN

El concreto premezclado es uno de los materiales básicos en la industria de la construcción, el cual no se encuentra exento de problemas asociados al ambiente. El manejo de desechos sólidos y aguas industriales, relacionado con el tratamiento del concreto residual, es uno de los problemas que presenta menor avance en el país, debido a que todavía se considera como una solución en proceso que emite desechos que no tienen un uso definido, lo que ambientalmente no es considerado óptimo, a pesar de existir la posibilidad de reutilizar las materias primas, estas no son reintegradas al proceso, desaprovechando los beneficios económicos y ambientales que representaría para cualquier operación de este tipo.

Este trabajo busca proveer de información para la implementación de procesos que permitan el aprovechamiento de los desechos sólidos y aguas industriales que se generan por diferentes razones, a causa del concreto premezclado y sus usos en la construcción, materiales que son de mayor costo y que en buena medida pueden beneficiar la sostenibilidad de la industria en los países en vías de desarrollo.

Las soluciones que se presentan en los próximos capítulos se relacionan directamente con la reutilización de estos desechos (líquidos y sólidos) como materias primas, estas soluciones ya han sido utilizadas exitosamente en países que han enfrentado este problema.

1. DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO EN GUATEMALA

1.1. Antecedentes históricos

El desarrollo de la industria del concreto premezclado ha ido de la mano a través del tiempo con la industria del cemento. Existen hallazgos que permiten afirmar que una de las primeras construcciones en material aglomerante o concreto rudimentario (unión de tierra caliza, arena, gravas y agua) son de hace 7 500 años. Esta mezcla fue utilizada para el piso de las chozas de un pueblo en las riberas del río Danubio en Yugoslavia.

La construcción de las pirámides de Keops, Kefren y Micerinos en Egipto, hace 4 500 años, da cuenta de la utilización de un mortero, fabricado con yeso calcinado impuro y arena. También se encontraron obras de romanos y griegos en las que utilizaban la cal como aglomerante. También en Latinoamérica en pueblos mayas, incas y aztecas, existen pruebas del uso del concreto con base a piedra aglomerada con suelo volcánico, cal y agua.

Hasta el siglo XVIII se habla de escasos avances y es en 1759 cuando el Ing. John Smeaton encargado de la reconstrucción del faro de Eddystone en Inglaterra, realiza estudios que mejoran la calidad de los morteros que se traducen en un impulso a la construcción en concreto. En 1826 se instala la primera fábrica de cemento en Inglaterra. En 1837 se hace la primera construcción en la cual se emplea concreto a gran escala, casa construida por John Bazley White en Londres.

La revolución en la industria del concreto premezclado se debe a un invento en 1903, en la ciudad de Hamburgo, Alemania, el Ing. Juergen Hinrich Magens, hizo transportar el primer metro cúbico de concreto, producido en una planta mezcladora estacionaria, en un vehículo especial tirado por caballos hacia una obra distante a 11 kilómetros. El inventor llamó al producto concreto transportado y recibió el registro de la patente, por parte de la oficina alemana de patentes.

La idea de transportar una mezcla de agregados, pegante y agua, en estado fresco, hacia una obra fue planteada por el ingeniero inglés Deacon, quien vislumbró las ventajas que ello traería; pero los alemanes convirtieron la idea en un hecho. En 1906, Magens descubrió que el concreto fresco, enfriado/vibrado, permite un transporte más largo; y ese fue su invento más importante. El inventor consiguió por sus descubrimientos tres patentes, la última de ellas en enero 6 de 1907. Posteriormente instaló 4 plantas mezcladoras de concreto, las primeras de todo el mundo y de esta manera el método fue empleado y los constructores empezaron a aprovechar el nuevo sistema.

En Guatemala la producción de concreto premezclado inicia a mediados del siglo pasado y es en 1954 que se instala la primera planta productora de concreto premezclado, lo que permitió acelerar de manera significativa la construcción vertical en el país, que para esa época había tomado un nuevo giro de desarrollo político, económico y comercial, en la que surgieron nuevos edificios entre los que se puede mencionar la actual Municipalidad de Guatemala, la Biblioteca Nacional, la construcción del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala con su aula magna y el edificio de la Rectoría y Recursos Educativos de la Usac.

1.2. Marco teórico

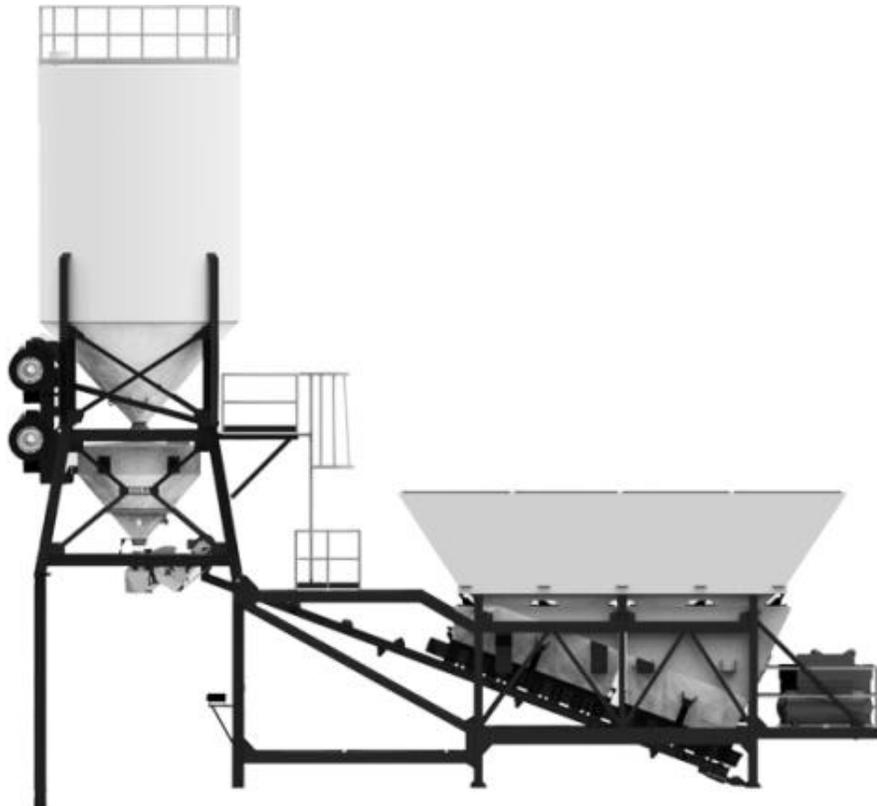
Llegar a conocer el proceso general de producción de concreto premezclado permite implementar mejores prácticas en el manejo de los desechos que este tipo de industria aportan, siendo de mucha importancia su aprovechamiento para minimizar los impactos al ambiente.

1.2.1. Descripción general del proceso de producción de concreto premezclado

El proceso inicia con la selección del concreto según el tipo y resistencia solicitado por el cliente, cada metro cúbico se produce a partir de un diseño el cual ha sido previamente aprobado, de tal manera que cumpla las especificaciones solicitadas y que generalmente es especificado por su resistencia a la compresión a 28 días de haber sido producido; luego el piloto prepara su unidad para la carga inspeccionando que su unidad se encuentre en perfecto funcionamiento para la operación, verifica que el interior del cumbo esté libre de agua residual del día anterior, pasa a la zona de carga en planta (ingreso a la manga), para lo cual existen dos tipos de plantas productoras de concreto. Las plantas dosificadoras y las mezcladoras.

Las plantas dosificadoras agregan una parte del agua, los aditivos, el cemento, los agregados y por último la dosis final de agua, para que el camión mezclador se encargue de realizar la homogenización de los materiales adicionados, generalmente, según la capacidad de la planta este proceso es necesario realizarlo en más de una ocasión para cargas mayores a 7,5 metros cúbicos, haciendo que las plantas dosificadoras sean más lentas.

Figura 1. **Planta móvil dosificadora de concreto**



Fuente: ODISA. *Catálogo de plantas de concreto*. www.odisa.com. [Consulta: enero de 2011].

Las plantas mezcladoras tienen la capacidad de pesar y mezclar todo a la vez, haciendo que la mezcla sea más homogénea teniendo la facilidad de entregar concreto tanto a camiones mezcladores como en góndolas de palangana para su distribución, una vez cargados todos los materiales por cualquiera de los dos métodos, el camión se dirige a la zona de inspección de carga en donde es revisada la carga por un laboratorista, verificando que la apariencia y consistencia del mismo sea acorde al tipo de concreto solicitado; de manera aleatoria este concreto es muestreado, tomando una porción de la mezcla, de la cual se elaboran cilindros que luego son curados y ensayados en laboratorio para garantizar un monitoreo de la producción.

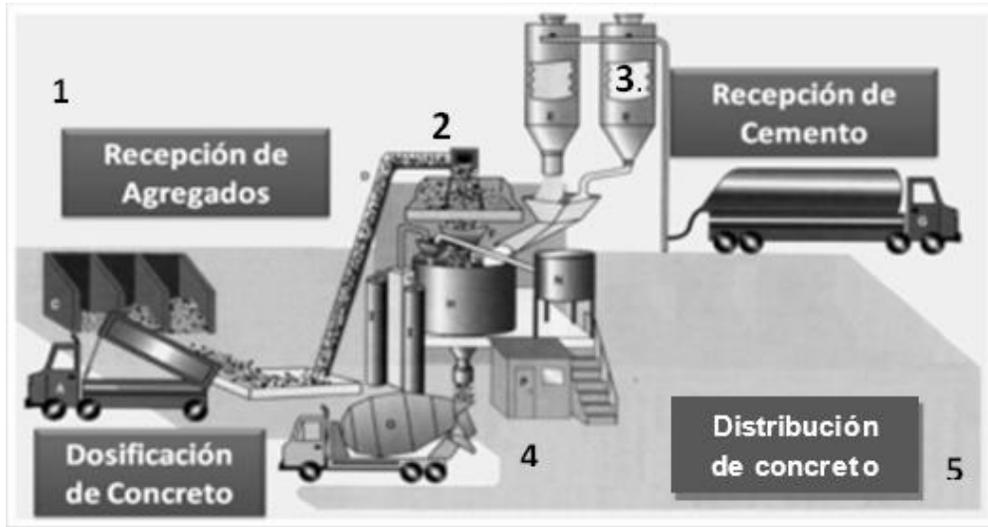
Figura 2. **Planta dosificadora con mezclador central**



Fuente: ODISA. *Catálogo de plantas de concreto*. www.odisa.com. [Consulta: enero de 2011].

El piloto se dirige al punto de entrega donde el concreto será colocado, según el tiempo de elemento y método utilizado para tal efecto, ya descargado el producto, el camión retorna a la planta productora y completa su ciclo, pasando al área de lavado en el que deposita los restos finos que han quedado en el interior del cumbo, dejándolo limpio y en condiciones de recibir un nuevo envío para ser distribuido.

Figura 3. **Proceso de fabricación de concreto premezclado**



Fuente: Mixto Listo. *Manual de concreto*. p. 5.

Tabla I. **Descripción del proceso de dosificación**

ETAPA	DESCRIPCIÓN
1. Recepción de materia prima (agregados, agua y aditivos)	<p>Se reciben los agregados pétreos que han sido evaluados bajo las Normas de ASTM C-33 y se apilan de acuerdo a las recomendaciones de la ACI 304 R.</p> <p>Los aditivos utilizados deben ser almacenados en tanques herméticos y protegerse del congelamiento, serán recibidos según la Norma ACI 212.</p> <p>La Norma ASTM C94 presenta los criterios de aceptación para el agua que será utilizada en la producción de concreto.</p>

Continuación de la tabla I.

2. Alimentación de tolvas	Se distribuyen los diferentes materiales según su tamaño en distintas tolvas por medio de bandas transportadoras (generalmente 4).
3. Recepción del cemento	El almacenamiento de cemento a granel debe ser a prueba de fugas y estar libre del contacto con el ambiente y la humedad para evitar contaminaciones.
4. Dosificación de materiales	Consiste en el pesado de los materiales según su tipo, los que pueden ser descargados directamente a un camión mezclador o un mezclador central, bajo las especificaciones de la Norma ASTM C94.
5. Distribución de concreto	Se realiza por medio de camiones tipo palangana o por camiones mezcladores que se encargan de homogenizar la mezcla de concreto y se aplica la Norma ASTM C94 asegurar el cumplimiento de especificaciones.

Fuente: Mixto Listo. Manual de concreto. p. 8.

1.2.2. Tipos de plantas productoras de concreto

En la actualidad existe una amplia gama de plantas productoras de concreto, las que se pueden clasificar de diferentes maneras según su funcionalidad, por la forma de cargar y pesar los materiales, también por su capacidad y por sus características de instalación y movilidad. En términos generales existen dos tipos de plantas, las que cargan en seco o llamadas dosificadoras y plantas que cargan en húmedo, es decir, que los materiales son previamente homogenizados antes de ser trasladados al vehículo que se designe para su distribución al punto requerido.

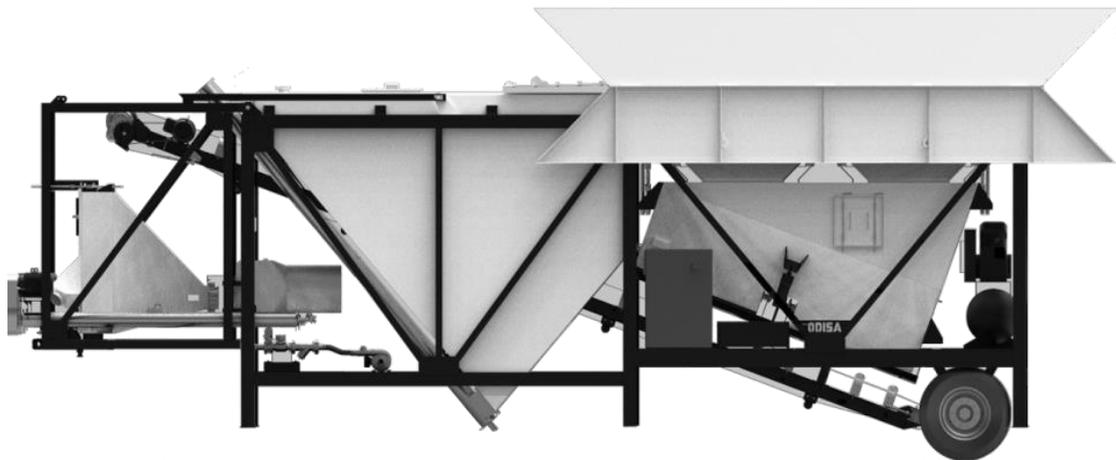
Las plantas de dosificadores se pueden subdividir según su velocidad y capacidad de carga, la cual se mide en cantidad de metros cúbicos cargados en una hora y que pueden ir desde los veinticinco metros cúbicos por hora que son plantas móviles pequeñas, hasta las de mayor tamaño con capacidad de producir entre 90 y 120 metros cúbicos por hora, siendo estacionarias o móviles. En la actualidad este tipo de equipos por lo general vienen acompañados de sistemas especializados para realizar una dosificación muy precisa de los materiales que requiere la producción a gran escala, de tal modo que con su utilización se pueden garantizar altos estándares de calidad y certeza de volumen.

Las plantas mezcladoras tienen la ventaja de entregar homogenizado el concreto a los camiones que se utilizan para su distribución, haciendo con esto un proceso mucho más eficiente debido al alto rendimiento que poseen de pesar y mezclar a la vez lo que permite ahorros de tiempo y optimización de los diseños, pues realizan una mejor mezcla que las ollas que poseen los camiones mezcladores, generalmente se utilizan para la producción de concretos de bajo asentamiento y que se colocan de forma directa o por medios mecánicos con la ayuda de pavimentadora o moldes deslizantes.

Por su movilidad puede clasificarse como estacionarias o móviles, siendo estas últimas las que ofrecen mayores ventajas y comodidad de instalación, ya que poseen alta capacidad de producción y se pueden trasladar de forma relativamente fácil a los puntos de producción lo que reduce en mucho los costos de operación al producir concreto en grandes cantidades para un proyecto específico.

El traslado básicamente necesita de un camión tipo cabezal, ya que todos sus componentes son plegables de fácil ensamblaje y por sus dimensiones permiten realizar los movimientos por las carreteras sin mayor complicación. Para completar la fase de instalación de un equipo portátil, es necesario realizar alrededor de al menos 6 viajes con cabezal o *low boy*, para trasladar todos los componentes ya que se requiere de un cargador frontal, silo de cemento, una banda transportadora de alimentación de materiales, la planta dosificadora, generadores eléctricos y tanques de agua como mínimo para la puesta en operación de un equipo como estos.

Figura 4. **Planta dosificadora portátil**



Fuente: ODISA. *Catálogo de plantas de concreto*. www.odisa.com. [Consulta: enero de 2011].

2. IDENTIFICAR LAS CAUSAS QUE INFLUYEN EN LA GENERACIÓN DE LOS DESECHOS Y SU IMPACTO EN EL AMBIENTE

Identificar cuáles son las principales causas y en qué parte del proceso se genera la mayor cantidad de los desechos en todo el ciclo de la producción de concreto premezclado, es importante para implementar los planes adecuados de mitigación que minimicen el daño al ambiente.

2.1. Proceso de producción

Para una adecuada producción de concreto los materiales utilizados deben cumplir con las especificaciones establecidas en la Norma ASTM C-33, verificando su homogeneidad y limpieza antes de ser utilizados.

2.1.1. Reproducción del diseño

Todos los diseños de concreto que se destinen para una producción sistemática serán debidamente aprobados y analizados por el área de diseño y desarrollo de productos en un laboratorio y deberán cumplir con una resistencia mayor a la especificada para una obra, con la finalidad de asegurar el cumplimiento de los requisitos de la ACI 318. Siendo la resistencia promedio a la compresión requerida del concreto (f'_{cr}), empleada como base para la dosificación, la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$f'_{cr} = f'c + pS$$

En la que $f'c$ es resistencia específica a la compresión del concreto, p es el factor de probabilidad y S es la desviación estándar.

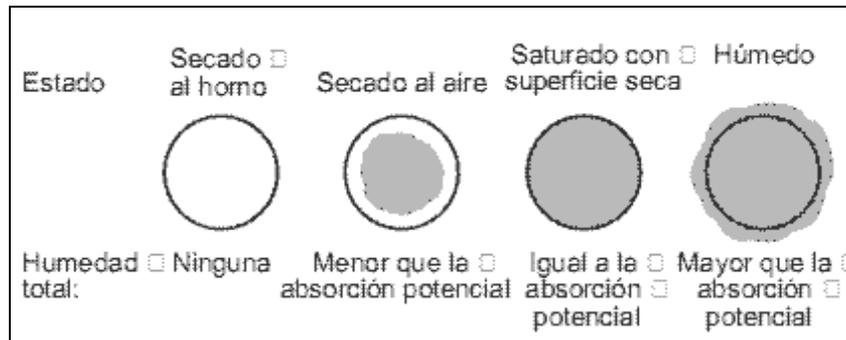
Luego estos diseños son trasladados a la planta productora donde tendrán algunos ajustes según las características de los materiales y sobre todo de las condiciones ambientales que imperen al momento de realizar la carga y por la humedad que estos presenten.

Es importante contar con los registros de muestreos periódicos de los materiales en los patios de almacenaje, realizando inspecciones visuales y toma de muestras para determinar la absorción y humedad de los agregados determinada, de acuerdo a la Norma ASTM C70 y de una forma práctica el contenido total de humedad por medio de secado como lo indica la Norma ASTM C566 que se calcula mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$P = [(W - D) / D] * 100$$

Donde P es el contenido de humedad [porcentaje], W es la masa inicial de la muestra en gramos [g] y D es la masa de la muestra seca en gramos [g].

Figura 5. **Condición de humedad de los agregados**



Fuente: Kosmatka, Steven H. y William C. Paranese. *Diseño y control de mezclas de concreto PCA*. p. 115.

Estos diseños requerirán ajustes para compensar la humedad que los materiales aportan al diseño del concreto, ya que no contemplarlo aumenta la probabilidad que se produzcan numerosos rechazos al cumplir con el asentamiento esperado de diseño afectando por ende la resistencia requerida f'_{cr} .

2.1.2. Inspección de la mezcla

En todas las plantas de mezclado debe existir un mecanismo que permita verificar que se utilicen los tipos y cantidad de cemento especificadas para cada diseño, las pruebas necesarias para la aceptación de los materiales y dejar registro de los cambios indispensables en la dosificación por ajuste de humedades, las que debe cumplir con lo que establece la Norma ASTM C94, que detalla los requisitos a cumplir para la fabricación de concreto premezclado, entregado en estado fresco y sin fraguar.

Figura 6. **Inspección de camión en planta**



Fuente: Planta Mixto Listo en San Rafael Las Flores, febrero de 2012.

En la siguiente tabla se describen las normas que deben seguirse para asegurar que el concreto producido está siendo monitoreado adecuadamente para establecer un control estadísticos de la producción.

Tabla II. **Normas aplicables en la inspección del concreto en planta**

Normas	Descripción
ASTM C 172	Práctica normalizada para el muestreo del concreto recién mezclado.
ASTM C1064	Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura del concreto fresco.
ASTM C138	Método de ensayo normalizado para determinar la densidad (peso unitario), volumen producido y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico.
ASTM C143	Método de ensayo normalizado para determinar el asentamiento revenimiento en el concreto elaborado con cemento hidráulico.
ASTM C231	Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de aire del concreto fresco por el método de presión.

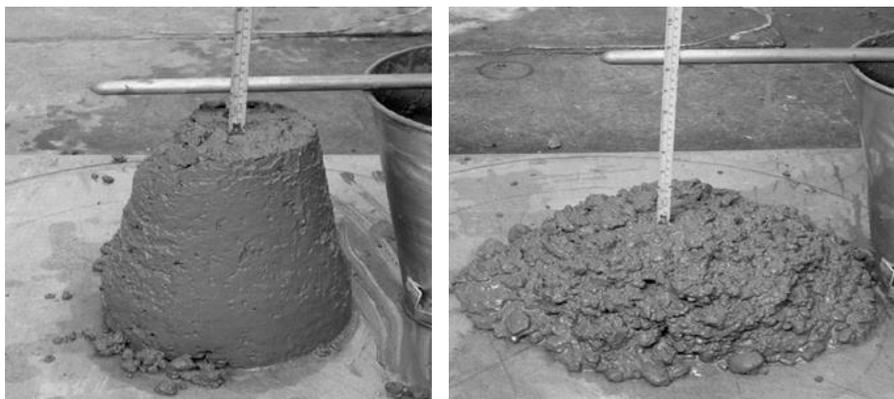
Fuente: *Manual para certificación de laboratoristas ACI Grado 1.*

2.1.3. Toma de muestras en planta

Esta actividad se realiza en el punto de inspección de los camiones y está normalizada por la ASTM C172 y la puede realizar únicamente personal técnico debidamente entrenado y capacitado, en este tipo de ensayos al concreto fresco, para lo cual la ACI extiende una certificación Grado I con reconocimiento a nivel internacional.

Este tipo de muestreos permiten establecer los parámetros de aceptación y calidad que están siendo entregados por la planta productora de concreto, constituyéndose este punto como el de validación para que un camión pueda continuar o no a entregar el producto a la obra, además, tiene como objetivo dejar un registro aleatorio de las resistencias promedio para los concretos que son producidos en un día normal dentro de la planta para medir su eficiencia en el uso del cemento.

Figura 7. Prueba de asentamiento en planta



Fuente: Pruebas de concreto fresco en la planta Mixto Listo, zona 6, Guatemala, octubre de 2011.

Es precisamente en este punto donde finaliza la parte del proceso de carga en planta y que puede generar cierta cantidad de desechos luego de haber sido inspeccionados, y que por no haber cumplido las especificaciones en determinado momento se puede convertir en productos no conformes (PNC) o concreto residual de la producción.

2.2. Transporte y manejo del concreto

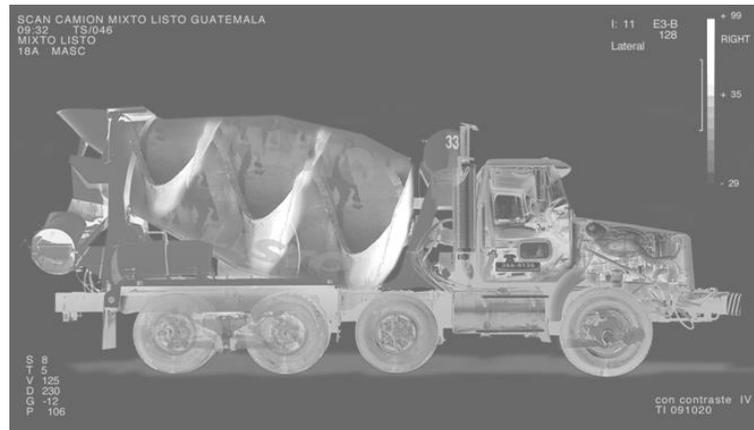
Consiste en el traslado del concreto por medios mecánicos desde las plantas productoras hasta el punto de utilización final, este puede ser por medio de camiones de volteo o palanganas, por bandas transportadoras o por camiones mezcladores.

2.2.1. Inspección de los camiones mezcladores

Los vehículos que se emplean para el transporte del concreto premezclado, deben pasar por rigurosas inspecciones para garantizar que cumplen satisfactoriamente para realizar una mezcla uniforme de los materiales dosificados en su interior.

La Norma ASTM C94 indica que cuando se utilizan camiones mezcladores para el mezclado completo del concreto, normalmente se requieren de 70 a 100 revoluciones con cierta tasa de rotación, la cual designa como velocidad de mezclado del tambor para producir un concreto con la uniformidad deseada. Después de 100 revoluciones, la tasa de rotación se le designa velocidad de agitación, la cual es normalmente entre 2 y 6 revoluciones por minuto, empleada durante el transporte de camión hacia la obra y para la velocidad de mezclado las rotaciones varían entre 6 y 18 revoluciones por minuto.

Figura 8. **Imagen interior de un camión mezclador**



Fuente: Mixto Listo. *Manual de concreto*. p. 12.

2.2.2. Demoras en la entrega

Para evitar demoras en la entrega es necesario una planeación anticipada en cuanto a la selección del método de transporte a utilizar, esto permitirá hacer un mejor manejo del concreto en la obra sin que se alteren las propiedades del mismo ni se comprometa la calidad, sin embargo, cualquier demora por una mala planeación puede representar grandiosas pérdidas de producto y recursos. En las ciudades como esta generalmente es posible mantener el concreto en agitación constante por un período de 1 1/2 a 2 horas después del mezclado, lo que hace posible una entrega adecuada y permita su colocación de forma satisfactoria.

En condiciones especiales de mayor tiempo de traslado se debe considerar el uso de aditivos retardantes que permitan mantener de forma estable el asentamiento y temperatura del concreto, de tal forma que se evite la segregación del mismo, para lo cual existen diferentes tipos y marcas según sea la necesidad en cada proyecto.

2.3. Cambio en las especificaciones

Los cambios en las especificaciones generalmente se deben al momento de la solicitud del pedido que se realiza, esto muchas veces es manejado de forma directa con el ejecutor del proyecto y la empresa proveedora del suministro de concreto.

2.3.1. Alteración del concreto en obra

Esta es una de las principales causas por las que existen pérdidas de concreto, debido a que personas ajenas a la producción del concreto pueden alterar sus características y por ende su resistencia, también puede darse por la manipulación de los operarios o conductores de los camiones mezcladores, por el personal de la fundición por facilitarse la colocación, por el mismo personal de la obra que sin conocer a detalle la dosificación del producto muchas veces solicitan la mezcla de aditivos o agua a la mezcla provocando una segregación, haciendo que se separe el mortero de cemento y arena de los agregados gruesos, dando como resultado mezclas con poco o ningún agregado grueso, lo que en definitiva afecta la resistencia del mismo.

2.3.2. Despacho de mezcla equivocada

En muchas ocasiones las pérdidas de concreto ocurren por entregas equivocadas, ya sea por cambio en las especificaciones del mismo y que luego de transcurridas dos horas es muy difícil reubicar sin que se alteren sus propiedades, en otras ocurre por direcciones equivocadas de entrega y en muchas ocasiones las mezclas solicitadas no son acordes al tipo de elemento que se va fundir, haciendo con ellos que la colocación del mismo se demore más tiempo del previsto lo que termina generando rechazos de concreto que son devueltos a la planta productora sin haber sido utilizados en los proyectos.

2.4. Planeación inadecuada

Una planificación inadecuada en la manipulación del concreto, causa problemas de diversa índole como:

- Tiempos de fraguado inoportunos
- Segregación del concreto
- Resistencias que no cumplen con lo especificado
- Malos acabados y texturas
- Filtraciones y ratoneras

2.4.1. Colocación

Es importante seleccionar qué métodos de colocación se utilizarán al recibir los despachos de concreto para aumentar la productividad en las tareas

de colocación con el personal y los equipos seleccionados para minimizar los retrasos durante la colocación.

En Guatemala usualmente se le llama descarga directa, a aquella descarga en la que el concreto que transporta el camión mezclador es entregado en el punto mismo de su colocación y que puede ser directamente vaciado al elemento a fundir o bien utilizando medios manuales de traslado al punto de fundición por carretillas de mano o cubetas de albañilería, la descarga generalmente es a nivel de suelo.

Figura 9. **Descarga directa de concreto**



Fuente: Colocación de pavimento en San Juan Sacatepéquez, octubre de 2011.

En la supervisión de los trabajos de colocación se deben aplicar las mejores prácticas en materia de colocación de concreto y debe ponerse especial atención a la consolidación para hacer que alcance la máxima densidad en el interior de los elementos por fundir, para ello, es necesario utilizar equipo especializado.

2.4.2. Equipo utilizado

En la industria guatemalteca existe diversidad de equipos para la elevación del concreto, los que van desde equipos telescópicos con control dirigido de los puntos de descarga y una diversidad de equipos de bombeo según sus capacidades y que utilizan tubería rígida para transportar el concreto al elemento que se desea fundir, el cual puede ser a nivel o en niveles superiores donde el traslado de este tipo de material es complejo dado su consistencia y trabajabilidad.

Figura 10. **Equipos estacionarios de bombeo**



Fuente: SCHWING. *Manual de bombas*. p. 5.

Figura 11. **Equipo telescópico o pluma**



Fuente: SCHWING. *Manual de bombas*. p. 10.

Figura 12. **Equipo móvil de bombeo o camión bomba**



Fuente: SCHWING. *Manual de bombas*. p. 7.

Una selección adecuada de todo el equipo que se empleará para la consolidación, alisado, curado, corte, así como, la selección correcta del personal permitirá que el concreto sea colocado de forma correcta y sin mayor contratiempo en el elemento a fundir.

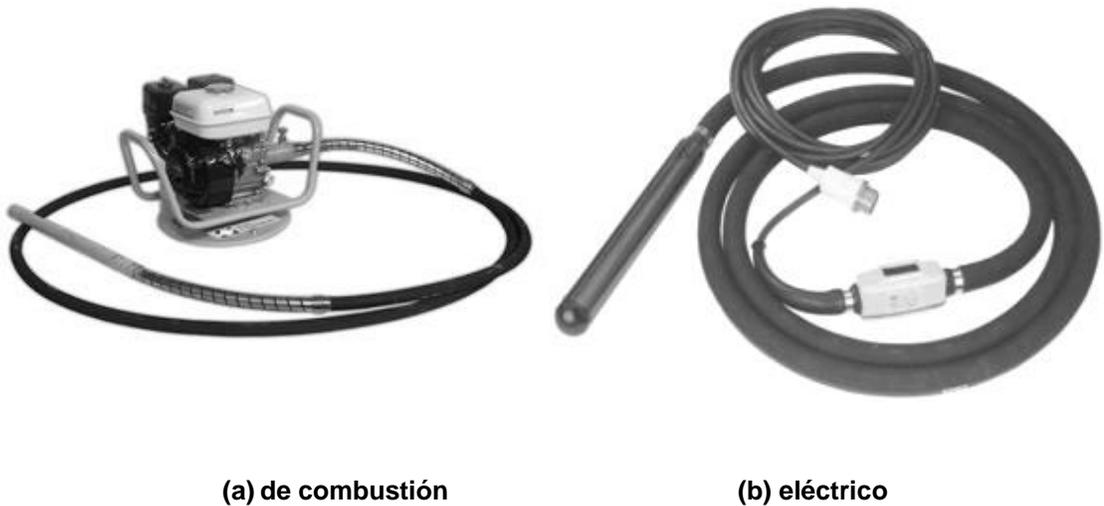
Figura 13. **Equipo de alisado y texturizado**



Fuente: Equipo de alisado bodega Mixto Listo, noviembre de 2011.

Para lograr una mejor consolidación del concreto en el elemento a fundir, es necesario utilizar equipo neumático denominado vibrador de concreto y los hay de diferentes marcas y modelos según sea su aplicación.

Figura 14. **Equipo de vibración externa**



Fuente: Mixto Listo. *Manual de concreto*. p. 12.

2.5. Impacto ambiental generado por los desechos sólidos y aguas industriales en el proceso de mezclado y limpieza

Estos impactos se deben principalmente a la contaminación de suelo y afluentes superficiales aledaños a las áreas donde se produce el concreto, implementar medidas de control y mitigación es una actividad de mucha importancia para asegurar un manejo sostenible de cualquier operación.

2.5.1. Contaminación del suelo

Cada vez que un concreto es devuelto, rechazado o retornado a la planta productora, se convierte en un remanente de materiales que requieren un adecuado tratamiento para evitar contaminar la superficie del terreno que ocupa las cercanías de la planta productora, a estos desechos sólidos se les denomina en muchas ocasiones como lodos industriales o comúnmente llamado ripio y deben ser manejados adecuadamente para evitar la formación de grandes bloques de concreto que se convierte en rocas artificiales difíciles de manejar y que pueden cambiar totalmente la estructura de un terreno natural, asimismo, es importante que se establezcan lugares adecuados y no depositarlos en cualquier lado.

2.5.2. Contaminación de las fuentes de agua

Una planta de concreto premezclado requiere del agua principalmente para la producción y para la limpieza de camiones. Las fuentes pueden ser, aguas subterráneas, de pozo, abastecimiento público, de lluvia recolectada y agua de limpieza reciclada. En tal sentido, se deben tomar medidas de mitigación para que esta agua residual del proceso y limpieza no sea descargada a fuentes de agua, como pueden ser subterráneas, los mismos pozos, ríos, lagos, provocando contaminación y daños al ecosistema acuífero.

2.5.2.1. Aguas residuales

Es el agua que se genera por limpieza del mezclador de la planta, de los cubos de los camiones al enjuagarlos y remover los depósitos del concreto residual.

Esta agua residual que es separada en las pilas de lavado de los camiones mezcladores va a contener altos niveles de alcalinidad, para efectos de su reutilización es asignada para procesos internos, dentro del mismo proceso y que muchas veces es utilizada para el lavado de los camiones, lo que representa grandes ahorros económicos y una optimización del uso de este preciado recurso.

Por otro lado, debido a la hidratación del cemento y por la formación de hidróxidos de calcio y de álcalis, esta agua es alcalina y los valores de pH se encuentran entre 12,5 y 13, es por esto que al momento de descargar excesos de esta agua a alcantarillados se deben tomar las medidas de mitigación adecuadas. Por esto es recomendable un sistema que recicle el máximo posible el vital líquido.

3. PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

3.1. Descripción

Derivado a la descripción realizada en los anteriores 2 capítulos sobre la producción de concreto premezclado y los procesos que de alguna manera crean desechos sólidos, en materia se plantearán medidas de mitigación que permitirán reducir los impactos adversos generados al ambiente por causa de la actividad industrial de las empresas productoras de concreto, es importante considerar antes de poner en marcha una operación de este tipo, que se contemplen alternativas que contribuyan al control y manejo de los desechos sólidos generados durante el proceso de producción de una planta de concreto.

En Guatemala pocas empresas han mostrado algún tipo de compromiso para dar un tratamiento adecuado a estos desechos, a pesar de que por Acuerdo Gubernativo número 236-2006 del *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, se establece por ley que todos los entes públicos o privados generadores de este tipo de desechos antes de su disposición final, deben cumplir con las disposiciones y parámetros que establece el reglamento.

Tabla III. **Parámetros permisibles para el manejo de lodos**

Disposición Final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	<100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	< 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	< 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	< 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	< 1000

Fuente: *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* Acuerdo Gubernativo 236-2006. p. 20.

3.2. Manejo del concreto devuelto o rechazado

Existen diferentes formas en las que el concreto predosificado termine como un desecho y que luego vaya a parar a los diferentes rellenos o botaderos del país, sin que se haya aplicado algún tipo de tratamiento.

Los desechos se clasifican según su procedencia y utilización, que pueden resultar devueltos por una inadecuada trabajabilidad, asentamientos fuera de especificación, problemas con la carga de materiales, con el despacho de concreto, por demora más allá de las toleradas por el cliente, entre otras.

Esto significa que puede darse una pérdida total, cuando el volumen cargado es devuelto sin que haya sido utilizado por el solicitante y sin posibilidad de una reubicación.

En los casos en que el concreto aún puede ser reutilizado de forma confiable sin que se afecte la calidad y las especificaciones requeridas, este puede ser recargado con una reposición de concreto que garantice sus cualidades, para lo cual es preciso realizar una descarga o pérdida parcial, del producto y dar paso a una recarga proporcional de producto que generalmente es factible de realizar si la unidad aún permanece en planta.

Se debe tomar en cuenta que si es factible arreglarlo para otros despachos esto representa una gran oportunidad de minimizar la contaminación producida, sin embargo, para que esto sea posible se debe contar con la tecnología y los controles adecuados que permitan garantizar la calidad de los productos luego de su reutilización.

3.2.1. Alternativa para reutilización

Existen varias formas para reutilizar el concreto devuelto o rechazado en planta, estos son sistemas no mecánicos que podrían ser implementados por las empresas dedicadas a la producción de concreto premezclado y que deberían considerar dentro de su etapa de instalación como parte de las mejoras a los proceso de fabricación y mitigación de impactos ambientales.

3.2.1.1. Moldes para fabricación de elementos no estructurales

Al implementar este método permite utilizar de forma directa el concreto que es devuelto o rechazado en la planta productora, tiene la ventaja de que representa bajos costos de implementación y puede manejarse en cooperación con las comunidades o municipalidades vecinas a la planta de concreto.

Consiste en moldes metálicos reutilizables con las siguientes medidas 0,50 x 0,50 x 0,10 metros, utilizados para la fabricación de bloques de concreto, que luego pueden ser empleados con diferentes usos en calles y avenidas en la rehabilitación de sitios que no cuentan con un presupuesto para la construcción de un pavimento o áreas recreativas por ejemplo, hoy en día se maneja este método por una de las empresas que se dedica a la producción de concreto en cooperación con la Municipalidad de Mixco, lo que ha permitido realizar aportaciones directas a las comunidades de este municipio, brindando soluciones a problemas de vialidad y ornato de sus espacios públicos como se muestra en las siguientes fotografías.

Figura 15. **Instalación de bloques en aldea El Aguacate**



Fuente: aldea El Aguacate, municipio de Mixco, marzo de 2012.

Figura 16. **Utilización de bloques en parque recreativo**



Fuente: Parque municipal El Zanjón, zona 4 de Mixco, marzo de 2012.

3.2.2. Ensayos a productos reciclados

Los productos que son elaborados con el material que es retornado a la planta, proveniente de rechazos, devoluciones o rechazos de concreto, es considerado como material no clasificado y no está sujeto al cumplimiento de ninguna especificación de resistencia, por lo tanto, no se espera que presenten un comportamiento estándar dado que es muy difícil determinar un solo tipo de procedencia y que muchas veces ha sido modificado antes de ser colocado en los moldes para la fabricaciones de elementos no estructurales, como los descritos anteriormente.

Las muestras de cilindros de concreto se someten a ensayo de acuerdo a la Norma ASTM C39, que es el Método Estándar de Pruebas de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto.

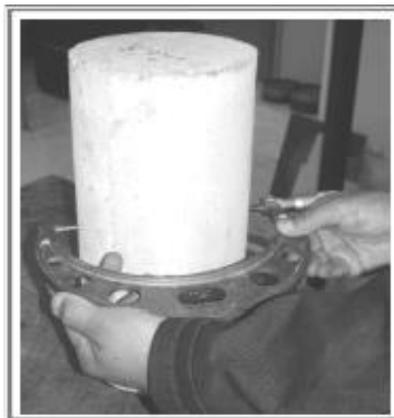
Siendo un resultado de prueba el promedio de por lo menos de 2 pruebas de resistencia curadas de forma estándar y sometidas a ensayo a la misma edad y en la mayoría de los casos el requerimiento de resistencia para elementos de concreto se realiza a edades de 28 días. Dichas muestras se desarrollan con el objeto de determinar si las mezclas cumplen con estándares para evitar posteriormente desechos o productos de mala calidad, asimismo, se van tomando las medidas de mitigación adecuadas; en tal sentido, se hace una descripción del trabajo que se desarrolla con el análisis de muestras.

3.2.2.1. Muestras

La probeta cilíndrica de concreto deberá cumplir con lo siguiente:

- Medir dos diámetros en ángulo recto en la parte media de la altura del espécimen, con una aproximación de 0,25 milímetros o 0,01 pulgadas.

Figura 17. **Medición del diámetro de un espécimen**



Fuente: Laboratorio de concreto Mixto Listo, zona 6 de Guatemala, octubre de 2011.

- Chequear que el eje axial de perpendicularidad y los extremos planos de espécimen no se alejan más de 0,5 grados (1 milímetro en 100 milímetros).

Figura 18. **Chequeo de la perpendicularidad**



Fuente: Laboratorio de concreto Mixto Listo, zona 6, Guatemala, octubre de 2011.

- Los especímenes que no cumplan con tener sus extremos planos dentro de 0,05 milímetros (0,002 pulgadas) se pulirán o capearán según la Norma ASTM C617 o ASTM C1231 con el fin de que permitan una mejor superficie de contacto.

Figura 19. **Chequeo de planicidad**



Fuente: Laboratorio de concreto Mixto Listo, zona 6, Guatemala, octubre de 2011.

- La longitud debe ser medida con la precisión de 1 milímetro en tres lugares espaciados alrededor de la circunferencia.

Figura 20. **Medición de la longitud del cilindro**



Fuente: Laboratorio de concreto Mixto Listo. zona 6, Guatemala, octubre de 2011.

3.2.2.2. Procedimiento

- Empezar el ensayo tan pronto como el espécimen ha sido retirado de la pila de curado y se deben conservar las condiciones de humedad.

Tabla IV. **Tolerancia permisible de tiempo de ensayo**

EDAD	TOLERANCIA PERMISIBLE DEL TIEMPO DE ENSAYO o % HUMEDAD
24 horas	+/- 0,5 h o 2,1%
3 días	2 h o 2,8%
7 días	6 h o 3,6%
28 días	20 h o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

Fuente: KOSMATKA, Steven H; PARANESE William C. *Diseño y control de mezclas de concreto PCA*. p. 325.

- Limpiar los soportes inferiores y superiores de la prensa.
- Colocar el espécimen en los bloques de soporte inferior y alinear los ejes con el centro del cilindro de empuje, la Norma ASTM C1231 describe el uso de almohadillas de neopreno para facilitar esta parte del procedimiento.

Figura 21. **Mantener la humedad del espécimen**



Fuente: Laboratorio de concreto Mixto Listo. zona 6, Guatemala, octubre de 2011.

- Aplicar carga continuamente sin choque con un rango de velocidad de $0,25 \pm 0,05$ megapascales por segundo (35 ± 7 libras por pulgadas cuadradas) la proporción de la carga dependerá del tamaño del espécimen de prueba, módulo de elasticidad del concreto y la dureza de la máquina de compresión.

Figura 22. **Colocación del espécimen en la máquina de ensayos**



Fuente: Laboratorio de concreto Mixto Listo. zona 6, Guatemala, octubre de 2011.

- Aplicar la carga hasta que el espécimen falle y registrar la máxima carga soportada, para máquinas con indicadores de carga automática, no debe detener la aplicación de la carga hasta que disminuya en un 95 % de la máxima carga.
- Anotar el tipo de fractura y la apariencia del concreto luego de haber fallado.
- Calcular el esfuerzo de compresión con aproximación de 0,1 megapascales (10 libras por pulgada cuadrada).

Figura 23. **Registro del tipo de falla**



Fuente: Laboratorio de concreto Mixto Listo. zona 6, Guatemala, octubre de 2011.

- Factor de corrección según la relación de L/D es 1,75 o menor, el valor calculado del esfuerzo se debe multiplicar por el factor de corrección determinado en la siguiente tabla.

Tabla V. **Factor de corrección L/D Norma ASTM C39**

L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Fuente: KOSMATKA Steven H; PARANESE William C. *Diseño y control de mezclas de concreto PCA*. p. 330.

3.2.2.3. Cálculos

El promedio de las resistencias de los cilindros en condiciones de campo tomados de la misma muestra no deben variar en más del 8 % para dos resultados y en más de 9,5 % para tres resultados.

Tabla VI. Rango aceptable en fuerza individual de cilindros

MEDIDA PROCEDENCIA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	RANGO ACEPTABLE EN FUERZA INDIVIDUAL DE CILINDROS	
		2 CILINDROS	3 CILINDROS
6X12 pulg. (150 x 300 mm)			
Cilindro de laboratorio	2,40%	6,60%	7,80%
Cilindro de campo	2,90%	8,00%	9,50%
4 x 8 pulg. (100 x 200 mm) Cilindro de laboratorio	3,20%	9,00%	10,60%

Fuente: KOSMATKA Steven H; PARANESE William. *Diseño y control de mezclas de concreto PCA*. p. 333.

La resistencia a la compresión y el reporte se calculan de acuerdo a la Norma ASTM C39 utilizando la ecuación:

$$R = P / A$$

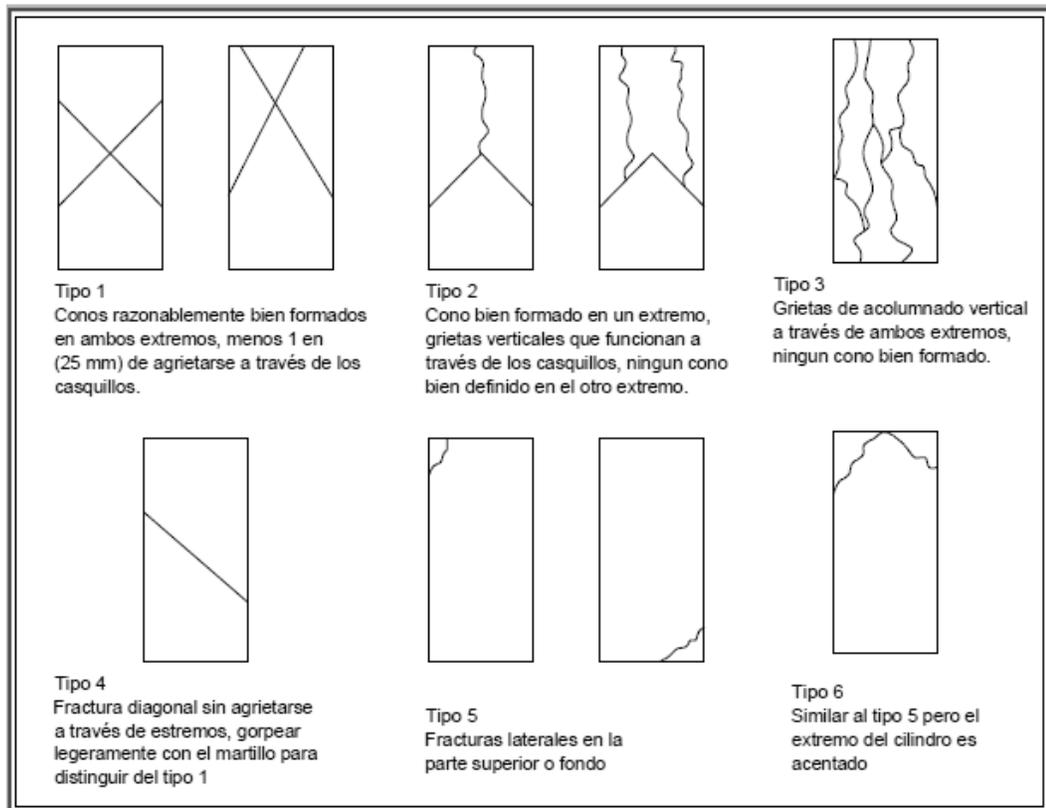
Donde:

R = esfuerzo a la compresión del espécimen en megapascales o (psi)

P = carga máxima aplicada en kilonewton

A = área de la cara axial del espécimen en milímetros cuadrados

Figura 24. Diagrama esquemático de los patrones típicos de la fractura



Fuente: KOSMATKA Steven H; PARANESE William C. *Diseño y control de mezclas de concreto* PCA. p. 345.

3.3. Manejo del concreto residual

Otra de las formas que genera residuos de concreto, es a través de remanentes que quedan después de la descarga en la obra, generalmente viene pegado en las aspas internas del mezclador y que se descargan en cada ciclo de retorno a la planta durante la etapa de lavado de los camiones mezcladores.

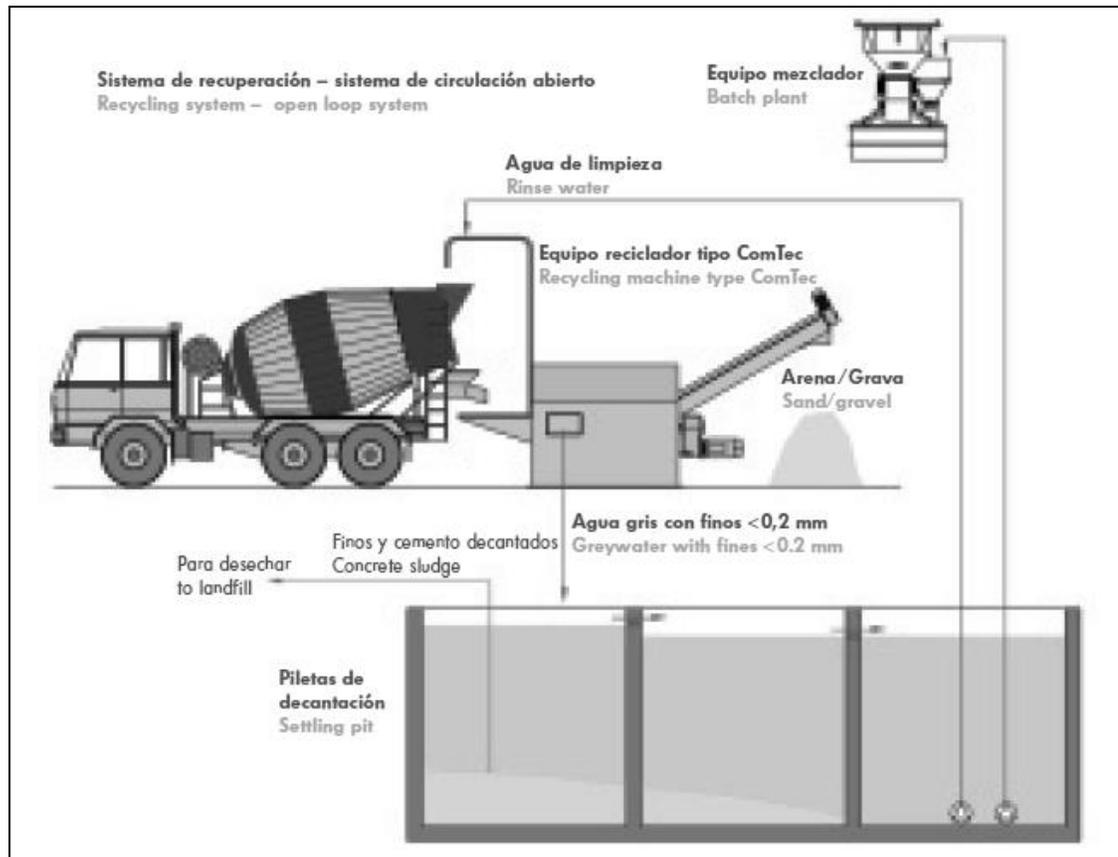
3.3.1. Sistemas mecánicos

En la actualidad existen equipos mecanizados que de forma eficiente garantizan el reciclado del concreto que aún se encuentra en estado fresco y sin fraguar, su función básicamente consiste en separar los agregados gruesos de los finos y ultrafinos, dando como resultado que los agregados mayores a 0,2 milímetros quedan separados del agua de residual, que es una mezcla de agua, cemento y agregados finos de granulometría máxima aproximada de 0,20 milímetros.

El sistema inicia su funcionamiento con el ingreso de concreto fresco no endurecido a la recicladora y todos se rigen por el mismo principio físico, mediante un movimiento mecánico de los materiales residuales, bañándolos en agua, para separar el cemento y las partículas finas hasta 0,20 milímetros de las partículas superiores a este tamaño.

Estos sistemas tienen la ventaja de separar, clasificar y lavar los materiales que luego pueden ser devueltos a los bancos de materia prima de la planta para su posterior utilización dentro de un nuevo proceso de carga, así también permiten la utilización de las aguas residuales las que luego de procesos de clarificación se les puede dar diferentes usos, como el lavado de camiones o bien, utilizar de forma parcial en nuevos diseños de mezclas.

Figura 25. Sistema de recuperación de agregados



Fuente: BIBKO. Folleto sistemas de recuperación de agregados. p. 8.

3.3.1.1. Tipos de recicladores

Existen diferentes tipos, el cilindro de rotación con mallas seleccionadoras de agregados: lava con agua a presión y separa en arena gruesa y grava en un mismo proceso, existen varias marcas y modelos los más conocidos: Concrete Cyclone Reclaimer de Henry Manufacturing Company y Roto-Reclaimer de Haahjem North America Inc., The Six-Shooter Reclaimer de BFKTech, inc. (Concreto Ciclón Recuperador).

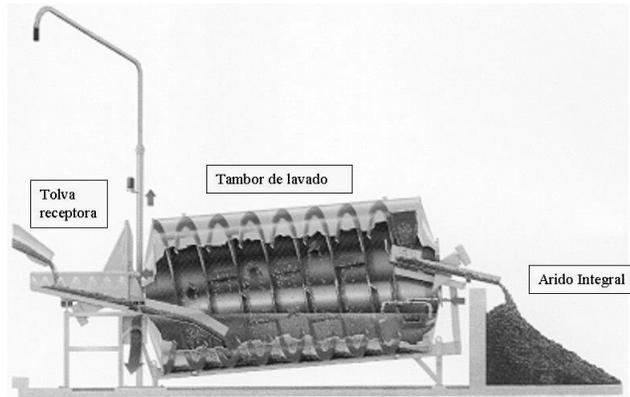
Figura 26. Cilindro de rotación marca Haahjem



Fuente: Imagen recuperadora de ciclones de concreto. www.concretecyclone.com. [Consulta febrero de 2011].

Tambor tipo batea o mixer con paletas de arrastre, este lava y entrega un agregado integral mezclado al final del proceso luego de separar los líquidos de sólidos a través de giros en dirección a la caída del material. Es posible adicionarle un sistema seleccionador de agregados tipo harnero vibratorio). Las marcas más conocidas: Schwing, Stetter y Simen.

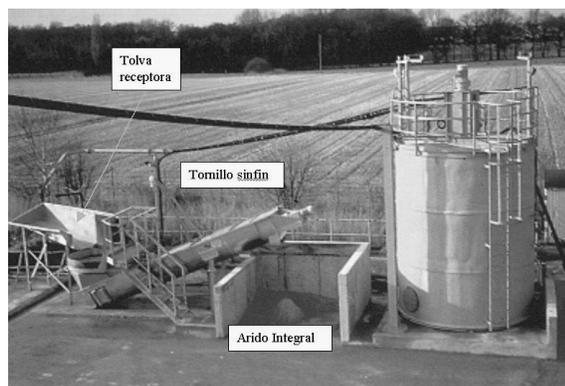
Figura 27. **Tambor tipo batea marca Schiwng**



Fuente: Schiwng Stetter. Imagen recicladoras de concreto.

Tornillo sinfín: lava y arrastra los agregados y los entrega en forma integral (mezcla). Se le puede adicionar un sistema seleccionador de agregados tipo harnero vibratorio los hay en las marcas más conocidas: KSW, BIBKO.

Figura 28. **Tornillo sinfín sistema KSW**



Fuente: KSW. Imagen recicladoras de concreto. www.hoelschertechnik.de/html. [Consulta: febrero de 2011].

Este tipo de sistema requiere de poco espacio e infraestructura por su fácil instalación, está diseñado para plantas pequeñas, ideal para utilizarlo en zonas urbanas donde el manejo de desechos industriales es más complicada y costosa, por ende al implementar un sistema como estos se obtienen ahorros significativos por el manejo y aprovechamiento de los agregados limpios que se logran recuperar de los diferentes procesos de lavado de los camiones mezcladores, su capacidad es limitada, sin embargo, se puede ampliar y mejorar instalando un seleccionador para hacer una clasificación de los agregados.

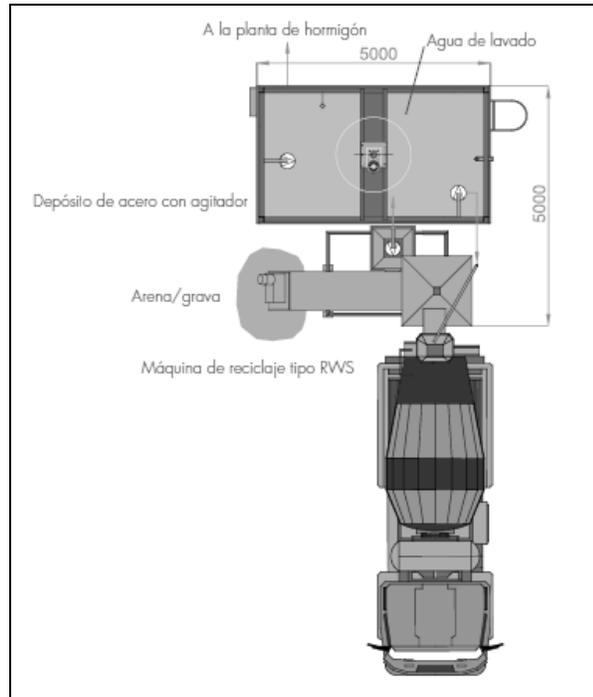
Sistema mejorado BIBKO es una combinación del tornillo sinfín y la lavadora de batea, el cual persigue más que un reciclado el concepto de cero desperdicios, al permitir la recuperación total de los residuos generados por el concreto residual ya que mediante sistemas agitadores facilita el reuso del agua como se describe en el siguiente esquema (vista en planta).

Figura 29. **Sistema alemán BIBKO**



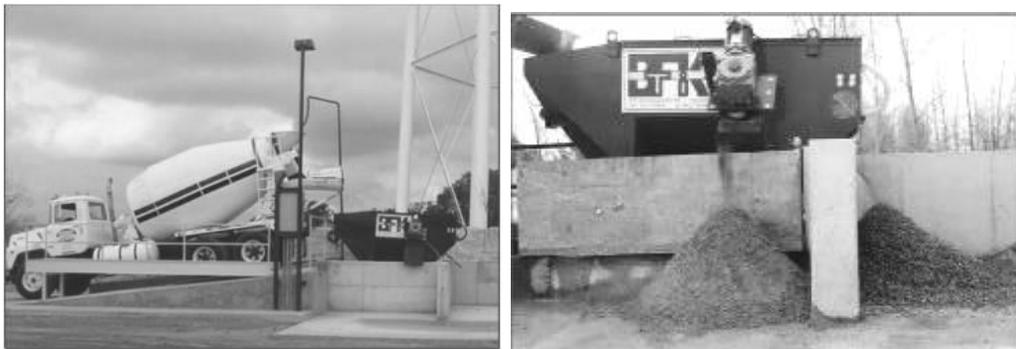
Fuente: BIBKO. *Folleto de recicladoras de concreto*. www.bibko.com. [Consulta: febrero de 2011].

Figura 30. **Vista en planta de sistema de reciclado BIBKO**



Fuente: BIBKO. *Folleto sistemas de recuperación de agregados*. www.bibko.com. [Consulta: febrero de 2011].

Figura 31. **Recicladora Six-Shooter Reclaimer BFK**



Fuente: BIBKO. *Folleto de recicladoras de concreto*. www.bfktechnologies.com. [Consulta: febrero de 2011].

Este sistema es muy versátil ya que su desempeño es adecuado para plantas que manejan desde 6 camiones o más, tiene la opción de descarga y reciclado de dos camiones simultáneamente y hacer una separación de los agregados finos y gruesos en el mismo proceso de reciclado con la selección de descarga de ambos lados según se requiera por diseño en la planta, dando con esto la ventaja de ubicación prácticamente en cualquier punto que se desee, la separación del cemento se realiza por medio de las bombas de lavado que utilizan agua reciclada para el efecto, para ello, es necesario contar con pilas de sedimentación similares a las que se describen en los procesos no mecánicos descritos en este trabajo de investigación.

3.3.2. Diseño de sistemas no mecánicos

Para lograr esto es preciso destinar pilas de lavado para los camiones, estas pilas deben ser diseñadas de tal forma que permitan la recuperación de gran parte del agua que se utiliza en la etapa de lavado del interior de los cubos mezcladores de los camiones, que descargan directamente a estas.

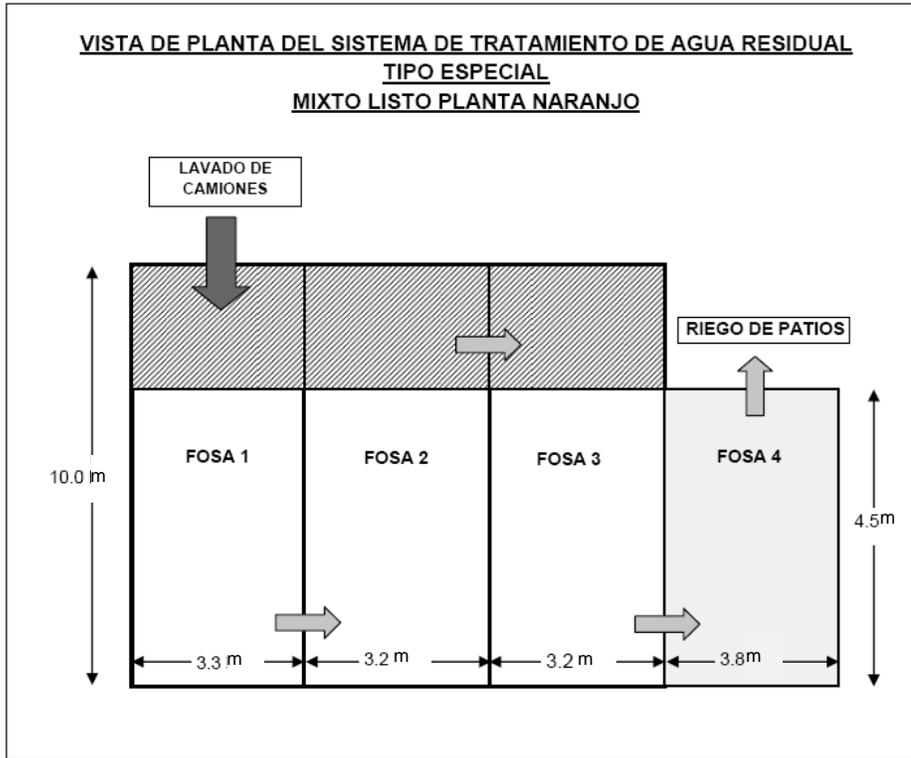
Son básicamente pilas de decantación que permiten separar la mayor cantidad de finos y agregado grueso del concreto que retorna muchas veces dentro de los camiones. Por medio de varias etapas de sedimentación ocurre la separación de sólidos y el agua en las etapas del proceso. Los materiales deben ser extraídos diariamente por una pala mecánica y luego son depositados en un punto para su escurrimiento final antes de su traslado a los diferentes botaderos autorizados cercanos a la ciudad.

Estos desechos no tienen una utilización definida, por lo general son llevados a botaderos y se conoce su utilización en la construcción de bloques y muros, siempre que su utilización no sea estructural, también pueden ser utilizados como material de relleno, para esto se deben crear tanques de sedimentación con un alto contenido de humedad (90%) a los que se debe agregar algún coagulante del cemento, mezclar y dejar solidificar, evacuando el agua por efecto de secado al sol con el tiempo.

3.3.2.1. Diseño de las pilas de lavado

Requiere de unos 120 metros cuadrados de superficie para su construcción, tienen la particularidad que si se diseñan bien, estas mismas puede servir de complemento para la instalación de sistemas de reciclado más modernos, aprovechando los espacios y reservorios de agua que estas pilas ya tienen contemplado en su diseño original, para dar un mejor tratamiento a las aguas residuales que se generan del lavado de los materiales.

Figura 32. **Diseño de pilas de lavado de camiones mezcladores**



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Illustrator.

- Primer fosa de sedimentación: esta tiene 10 metros de longitud, con un ancho de 3,3 metros. Los camiones ingresan en reversa a lavar a esta fosa, de manera que el agua que se descarga en este dispositivo presenta la mayor cantidad de sólidos suspendidos de la lechada de concreto. La fosa cuenta con una rampa que permite el ingreso del cargador frontal que encarga de la extracción de los lodos. Su profundidad puede ser de 0,70 a 1,0 metro en su extremo posterior. El agua se conduce al segundo sedimentador por medio de un tubo de 4 pulgadas de diámetro, ubicado en la parte posterior del dispositivo, tal y como se indica en el diagrama correspondiente de la figura 31.

- Segunda fosa de sedimentación: mantiene las mismas dimensiones de la primera fosa. Cuenta con una rampa que permite el ingreso del cargador frontal utilizado para la extracción de los lodos. La frecuencia de extracción de lodos es menor a la de la primera fosa ya que el agua presenta niveles menores de sólidos suspendidos. El agua se conduce al tercer sedimentador a través de un canal ubicado en su parte frontal.
- Tercer fosa de sedimentación: su diseño es similar al de las fosas anteriores, el agua tratada se conduce a la última fosa a través de un tubo de 4 pulgadas ubicado en la parte posterior del dispositivo. Cuenta también con una rampa para el ingreso del cargador frontal utilizado para la extracción de lodos y finos acumulados durante mucho tiempo de reposo.
- Cuarta fosa de sedimentación o almacenamiento: tiene 4,5 metros de largo y 3,8 metros de ancho, con profundidad uniforme de 3,5 metros, este depósito permite el almacenamiento de 60 metros cúbicos de agua. Tomando en cuenta que el consumo diario de agua para el lavado de camiones es de 8,0 a 10,0 metros cúbicos al día, este dispositivo permite el almacenamiento del agua que se obtiene durante varios días de operación. Los lodos extraídos se acumulan en un área destinada para el efecto, en donde se secan al sol antes de ser transportados como ripio.
- El dispositivo de pilas de lavado permite una remoción no menor a un 90 % del total de los sólidos suspendidos presentes en el efluente sin tratar.

4. PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA EL MANEJO DE LAS AGUAS INDUSTRIALES

4.1. Descripción

El agua es utilizada como materia prima en el proceso de elaboración del concreto premezclado y para labores de limpieza del equipo utilizado en su producción. Si se considera que una planta en promedio produce unos 225 metros cúbicos al día, se tiene un consumo aproximado de 13 375 galones/día (51,1 metros cúbicos/día), de este vital líquido, el cual se obtiene generalmente de un pozo ya sea propio o a través del suministro proporcionado por empresas privadas o municipales que prestan el servicio.

En el Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, del Acuerdo Gubernativo número 236-2006 hace dos clasificaciones en las que se describe el tipo de aguas que se generan en el proceso de fabricación de concreto.

Aguas residuales: a las aguas que han recibido uso y cuyas cualidades han sido modificadas al haber entrado en contacto con el cemento y químicos utilizados en la fabricación del concreto premezclado.

Aguas residuales de tipo especial: a las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como, la mezcla de las mismas.

4.2. Manejo del agua industrial (premezclado de concreto)

El agua se debe recolectar en pilas de lavado, la misma se puede utilizar en su totalidad para el riego de áreas dentro de la planta de producción, patios de agregados y circulación dentro de la misma, para mitigar las emanaciones de polvo en el ambiente de trabajo. De acuerdo con lo establecido en el Reglamento, esta actividad se considera un reúso, por lo que debe ser evaluado de acuerdo a los parámetros de reúso indicados en el artículo 34 del Reglamento, sin embargo, es recomendable y muy importante contar con un análisis como el que se indica en el artículo 20, donde se establecen los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales de tipo especial a cuerpos receptores los que requieren controles adicionales según el uso que se le esté dando a estas aguas.

Tabla VII. **Parámetros y límites máximos permisibles para reúso**

Tipo de re uso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
Tipo V	200	$< 1 \times 10^3$

Fuente: *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* Acuerdo Gubernativo 236-2006. p. 20.

Los sólidos suspendidos constituyen la principal contaminación en este tipo de descargas, sin embargo, no está establecida una cantidad en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Los mismos están constituidos por todas aquellas partículas insolubles y que a su vez se clasifican en sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

Los sólidos sedimentables presentan partículas cuyo tamaño permite que sedimenten fácilmente por efecto de la gravedad. Estas son las partículas que generalmente se logran eliminar por medio de un tratamiento primario de sedimentación, las partículas coloidales por el contrario, poseen tamaños menores a 1 micrómetro por lo que no sedimentan fácilmente y se pueden mantener en suspensión por períodos indefinidos.

Los tratamientos primarios de sedimentación están enfocados específicamente a la remoción de la fracción de partículas sedimentables. Para el caso de las partículas coloidales, se pueden aplicar coagulantes y floculantes para acelerar su sedimentación o tratamientos secundarios de tipo biológico en caso se trate de sólidos de naturaleza orgánica. Es importante establecer el tipo de sólidos presentes en el efluente para diseñar adecuadamente los dispositivos de tratamiento.

Para el caso de un efluente, una cantidad importante de los sólidos en suspensión está constituida por sólidos sedimentables, los que son eliminados por un buen dispositivo de tratamiento como el indicado en la figura 31, donde se pueden obtener valores de sólidos sedimentables para el efluente menor a 1 milímetro por litro, lo que debe confirmar la eficiencia del dispositivo. Una fracción de sólidos en suspensión puede que permanezcan en el efluente en niveles que no cumplirían con las etapas del Reglamento, sin embargo, como mitigación el agua no debe evacuarse a ningún cuerpo superficial.

4.2.1. Análisis del agua

La caracterización se debe realizar con apego al procedimiento indicado por el Reglamento, tomando una muestra única en el cuarto sedimentador sin haber sido necesario realizar un monitoreo compuesto, ya que la composición del agua no varía significativamente en un día de actividades, por tratarse de la misma fuente de materiales los que son utilizados para la elaboración de concreto premezclado.

Para la medición de caudal, se realiza una medición de descarga en varios camiones, sin embargo, el caudal se estima con base en la cantidad de camiones que se despachan por día tomando el dato que se obtiene de forma diaria y muy precisa del reporte en planta y además porque es muy práctico cuantificarlo considerando las medidas definidas que tenga el último sedimentador de las aguas residuales. Luego de realizar un análisis de las muestras de agua, deben arrojar datos adecuados de acuerdo a los límites establecidos por el Reglamento 236-2006, para hacer las descargas a los cuerpos receptores, para el efecto se consideran los siguientes parámetros; de no cumplirse se deben considerar las medidas pertinentes.

- **Temperatura:** cuando se realiza un análisis de temperatura el resultado se debe comparar con la temperatura ambiente, de acuerdo con la normativa debe estar dentro de los parámetros de TCR +/- 7 grados Centígrados establecidos en el Reglamento, donde TCR es la temperatura del cuerpo receptor, para cumplir con lo establecido, las medidas que se toman son: no descargar el agua de forma directa a ningún cuerpo receptor superficial o subterráneo si no que se considera un período prudencial para que esta alcance los valores adecuados establecidos.

- Grasas y aceites: cuando se realiza un análisis de aguas residuales los niveles de grasas y aceites se deben comparar con los parámetros establecidos en el Reglamento, para cumplir en los procesos no deben utilizarse sustancias de naturaleza oleosa. Sin embargo, siempre es importante que se mantengan controles sobre el manejo adecuado de lubricantes y combustibles para evitar derrames que podrían incrementar los niveles de estas sustancias en el efluente final.
- Materia flotante: por lo general, por el tipo de proceso, donde los materiales son pesados materia flotante no existe, si se diera, se manejan de acuerdo al diseño de la pila de lavado donde esta permite una remoción no menor a un 90 % del total de los sólidos suspendidos, presentes en un efluente sin tratar, los cuales se acumulan en un área destinada para el efecto para posteriormente trasladarlos como ripio a lugares autorizados para su descarga.
- Sólidos suspendidos: los sólidos suspendidos están constituidos por todas aquellas partículas insolubles, las cuales se clasifican en sólidos sedimentables, las partículas por su tamaño se sedimentan fácilmente en pilas de lavado (figura 31), para extraerlas y trasladarlas como ripio a lugares destinados para el efecto, se trata de partículas menores a 1 micrómetro, por lo que no se logran sedimentar para el efecto se pueden aplicar coagulantes y floculantes para acelerar su sedimentación o, tratamientos secundarios de tipo biológico en caso se trate de sólidos de naturaleza orgánica, de igual manera como los sólidos sedimentables; no está establecida una cantidad mínima de descarga al afluente receptor en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

- Nutrientes (nitrógeno y fósforo): algunos de los aditivos empleados en el concreto premezclado, poseen nitrógeno en su estructura en niveles muy bajos que no afectan de manera significativa la concentración final de este parámetro, pero si se dieran se pueden utilizar procesos biológicos de nutrientes para remover nitrógeno y fósforo a través de lodos activados para posteriormente seguir el mismo procedimiento que las materias flotantes y sólidos suspendidos para su evacuación, esto para cumplir con los parámetros establecidos en la reglamentación para la descarga del agua residual. Con lo cual, se puede evitar el desarrollo de formas de vida acuática indeseables, cuando se vierten cantidades excesivas de estos elementos en los cuerpos receptores.
- pH: el potencial de hidrógeno en las aguas residuales, tiene la peculiaridad que afecta a la solubilidad de los metales, asimismo, la alcalinidad del suelo, de acuerdo a la normativa estos se deben situar entre 6 a 9 unidades de hidrógeno para el ajuste del pH del agua se utiliza generalmente hidróxido sódico al 50 %, aunque también es posible la utilización de hidróxido sódico a otras concentraciones (25, 35 %) o incluso otros hidróxidos, como el hidróxido de calcio, etcétera.
- El proceso se puede desarrollar a través de la dosificación, la cual puede controlarse por medio de una sonda de pH conectada a una bomba de dosificación. Se hace mención, que en estudios realizados a las aguas residuales producidas por el proceso de mezclado, los pH encontrados están dentro de los niveles permisibles, por otro lado, para evitar cualquier inconveniente se debe monitorear de manera periódica en tiempos prudenciales.

- Coliformes fecales: derivado a que esta es una bacteria que es producida por el excremento, en el proceso de premezclado o lavado de los camiones no existe la posibilidad de este tipo de contaminación que se desecha. Pero, de igual manera se deben hacer análisis para determinar si en un momento dado se dan y la forma práctica de eliminar este tipo de bacteria es elevar la temperatura del agua.
- Metales pesados: los metales que se consideran como pesados son arsénico, níquel, cadmio, cobre, cromo hexavalente, mercurio, cadmio y plomo. Para la producción de concreto premezclado, por lo general, no se emplea ningún material o aditivo que pudiera contener alguno de los metales ya mencionados y regulados por el Reglamento, por lo que no existe ninguna posibilidad de que estén presentes en las descargas a las aguas residuales. Cabe indicar, que con base en el diseño de las pilas de lavado y el proceso que tienen en sus etapas estos metales quedan atrapados en la sedimentación, de igual manera se puede utilizar el hidróxido de sodio.
- Cianuro: en el sector industrial, el cianuro se utiliza para producir papel, pinturas, textiles y plásticos. Para el proceso de concreto no se utiliza ningún compuesto que contenga cianuro en su composición química, de igual manera, para tomar medidas de mitigación se debe analizar el agua residual a través de muestras periódicas para detectar si existe este elemento y tomar las medidas pertinentes. Para el tratamiento de cianuro en aguas residuales se utilizan mucho los peróxidos. Cuando está bajo condiciones alcalinas, el cianuro se oxida a cianato el cual es mucho menos tóxico. Los peróxidos utilizados pueden ser el peróxido de hidrógeno, percarbonato de sodio y el ácido de caro.

- Color: el proceso de concreto premezclado no emplea sustancias coloreadas por lo que no existe ninguna posibilidad de que el efluente final presente niveles altos de color, por lo que no se consideran medidas de mitigación al respecto.
- Carga de demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada, por medios biológicos que contienen una muestra líquida, disuelta o en suspensión; se utiliza para medir el grado de contaminación. En la demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de materiales orgánicos presentes en las descargas de aguas ordinarias, normalmente se miden transcurridos 5 días de reacción (DB05). Para el efecto de los procesos de mezclado de concreto los principales contaminantes presentes en descargas son partículas de naturaleza inorgánica; de igual manera, siempre hay que realizar análisis como medida precautoria.

Tabla VIII. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* Acuerdo Gubernativo 236-2006. p. 20.

4.2.2. Reutilización del agua para hacer concreto premezclado

Para utilizar el agua proveniente de algunos procesos industriales y en especial las del proceso de lavado de camiones, es una medida que permite mitigar el impacto sobre el desperdicio del vital líquido, pero se debe tomar muy en cuenta que su utilización puede tener efectos notables en el comportamiento, que es normalmente esperado del concreto, a través de un tono diferente a los que son diseñados con agua potable sin contaminantes o metales detectables, ya que por su composición puede disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado, disminuir la resistencia, causar eflorescencia, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad entre otras.

La Norma ASTM C94 y la AASHTO M 157 establecen ciertos límites y criterios para la utilización de este tipo de aguas en la producción de concreto, por lo que es importante conocer los análisis necesarios para mantener bajo control los efectos que las sustancias químicas pudieran causar a tal punto que su reutilización no representa un costo mayor al momento de incorporarla al diseño de concreto premezclado.

Tabla IX. **Límites establecidos por la ASTM C94 o AASTHO M157**

	Máxima concentración, ppm*	Método de Ensayo**
Sustancias o Tipo de Construcción		
Cloruro, Cl.		ASTM D 512
<ul style="list-style-type: none"> Hormigón Presforzado o Losas de Hormigón para puentes 	500 ^E	
<ul style="list-style-type: none"> Otro tipo de refuerzo de Hormigón en ambientes húmedos o que contiene aluminio embebido o metales diferentes o con encofrados metálicos galvanizados. 	1000 ^E	
Sulfatos, SO ₄ .	3000	ASTM D 516
Alkalis, (Na ₂ O + 0.658 k ₂ O).	600	
Sólidos Totales.	50000	AASHTO T26

Fuente: *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*
Acuerdo Gubernativo 236-2006. p. 20.

La siguiente tabla muestra el análisis típico realizado para el abastecimiento de agua en las ciudades y agua de mar, es muy similar al realizado para el abastecimiento doméstico para la mayoría de ciudades, por lo que cualquier agua que sea analizada con estos parámetros será de uso satisfactorio cumpliendo con el principio de que, si es buena para el consumo humano es buena para el concreto.

Tabla X. **Análisis típico del agua de abastecimiento de ciudades y agua de mar**

Sustancia química	Análisis No. (partes por millón)						Agua de mar
	1	2	3	4	5	6	
Sílice (SiO ₂)	2,4	0,0	6,5	9,4	22,0	3,0	---
Hierro (Fe)	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	---
Calcio (Ca)	5,8	15,3	29,5	96,0	3,0	1,3	50 a 480
Magnesio (Mg)	1,4	5,5	7,6	27,0	2,4	0,3	260 a 1410
Sodio (Na)	1,7	16,1	2,3	183,0	215,0	1,4	2190 a 12200
Potasio (K)	0,7	0,0	1,6	18,0	9,8	0,2	70 a 550
Bicarbonato (HCO ₃)	14,0	35,8	122,0	334,0	549,0	4,1	---
Sulfato (SO ₄)	9,7	59,9	5,3	121,0	11,0	2,6	580 a 2,810
Cloruro (Cl)	2,0	3,0	1,4	280,0	22,0	1,0	3960 a 20000
Nitrato (NO ₃)	0,5	0,0	1,6	0,2	0,5	0,0	---
Total sólidos disueltos	31,0	250,0	125,0	983,0	564,0	19,0	35000

Fuente: *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*
Acuerdo Gubernativo 236-2006. p. 20.

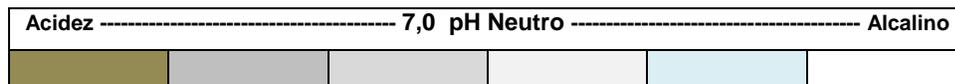
4.2.2.1. Efecto de los químicos en el concreto premezclado

A continuación se describen parámetros permisibles en la elaboración de concreto premezclado y que debe contener el agua como mínimo y máximo.

- Aguas ácidas: el pH del agua neutra es equivalente al valor 7,0 que mide el nivel de concentración de iones de hidrógeno en una escala logarítmica; valores inferiores a este indican una acidez y valores superiores a 7,0 indican una alcalinidad y que comúnmente se llaman bases. Normalmente el agua de mezcla contiene ácidos clorhídricos, ácidos sulfhídricos y otros ácidos inorgánicos en concentraciones de hasta 10 000 partículas por millón que no causan efecto perjudicial sobre la resistencia del concreto.

- Aguas alcalinas: las aguas con un contenido de 0,5 % de hidróxido de sodio no afectan considerablemente la resistencia, pero sí inducen a un retardo en el fraguado en combinación con algunos tipos de cemento. Para las aguas con porcentajes entre 1,2 % de hidróxido de calcio, con ciertos componentes de cemento sí pueden mostrar reducciones significativas en la generación de resistencia a los 28 días.

Tabla XI. **pH del agua escala de acidez y alcalinidad**



Fuente: KOSMATKA Steven H; PARANESE William C. *Diseño y control de mezclas de concreto PCA*. p. 350.

- Aguas de lavado: para que las aguas de lavado puedan ser utilizadas proporcionalmente en la mezcla de concreto deben cumplir con los límites indicados en la tabla X y algunos de los límites pueden exceder su concentración de cloruros y sulfatos si y solo sí, se puede demostrar que las concentraciones totales en el agua de la mezcla incluyendo otras fuentes de agua no exceden los límites establecidos en dicha tabla.
- Cloruros: los efectos adversos del cloruro sobre la corrosión del acero de refuerzo es la principal razón de preocupación respecto a su contenido en el agua utilizada para la preparación del concreto. El Código ACI 318 limita el contenido de iones de cloruro solubles en el agua del concreto armado de la siguiente manera:

Tabla XII. **Contenido de iones de coluro presentes en el agua de mezcla**

Concreto pretensado	0,06%
Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su vida útil	0,15%
Concreto reforzado que va a ser mantenido seco y protegido de la humedad durante su vida útil	1,00%
Otras construcciones en concreto reforzado	0,30%

Fuente: *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*
Acuerdo Gubernativo 236-2006. p. 20.

- Carbonato alcalino y bicarbonato: su efecto está relacionado directamente con el efecto en el fraguado de diferentes cementos, estas sales cuando se encuentran en grandes cantidades pueden tener un efecto en la resistencia del concreto.
- Sulfatos: la preocupación respecto al alto contenido de sulfatos en el agua usada para el concreto se debe principalmente a las reacciones expansivas potenciales y al deterioro por el ataque de sulfatos, principalmente en áreas donde el concreto será expuesto a suelos o aguas con alto contenido de estos.
- Azúcares: una pequeña cantidad de sacarosa, del orden de 0,03 % al 0,15 % en peso de cemento, normalmente es suficiente para retardar el fraguado de cemento, reduciendo con ello la resistencia a los 7 días mientras que la resistencia a 28 se puede ver aumentada por el efecto de mayor hidratación de la partícula de cemento al mantenerse por más tiempo en estado plástico.

En consecuencia si el agua a reutilizar sale de parámetros establecidos, se toma la medida de no utilizarlas para que el concreto premezclado no cumpla con especificaciones técnicas y en vez de ganar se obtengan mayores pérdidas por la mala calidad de este. En tal sentido, siempre que se tome la medida de reutilizar agua de procesos, se tendrá que hacer los análisis correspondientes para determinar los valores de contaminación de agua.

4.2.3. Reciclado para uso en lavado

Por lo general, para el lavado de cubos de camiones se utiliza un consumo promedio de 2 675 galones/día (10,1 metros cúbicos al día). Esta actividad genera la descarga de aguas residuales de tipo especial de la planta, la que se envía a una batería de sedimentadores, para ser finalmente utilizada en el riego de algunas áreas dentro de la misma planta, incluyendo el riego de los agregados almacenados en patios, con el propósito de reducir los niveles de contaminación por polvo que se emiten al ambiente debido al manejo y apilado de los mismos. Por la naturaleza del concreto, los principales contaminantes presentes en esta descarga son materiales de naturaleza inorgánica, especialmente sólidos insolubles que incrementan los niveles de los sólidos sedimentables y en suspensión.

A continuación se presenta un análisis del consumo promedio que se requiere en una planta productora de concreto con un volumen mensual estimado, así como, de los volúmenes de agua que se pueden reutilizar para diferentes reúsos como los que se han descrito anteriormente, ya sea para lavado de camiones, para riego de patio de agregados o bien utilizar un 10-15 % dentro del diseño de mezcla del concreto.

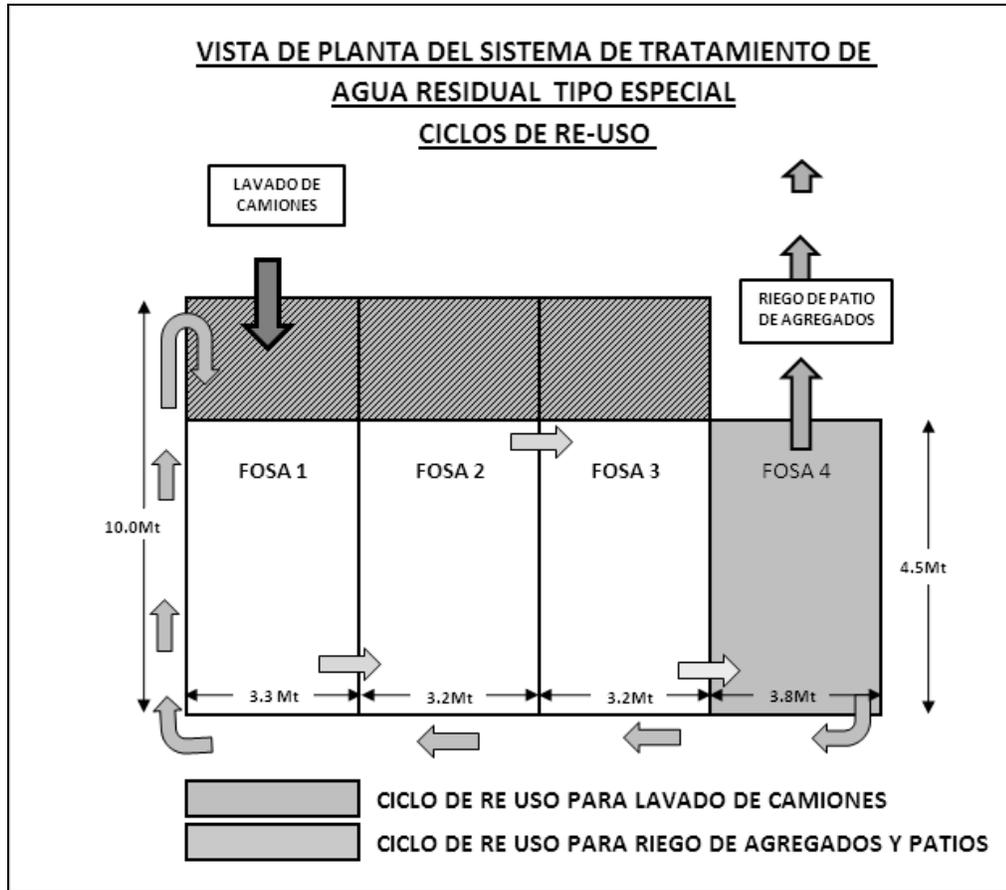
Tabla XIII. Consumo estimado de agua para una planta de concreto

CONSUMO DE AGUA			
DATOS	DÍA	MES	AÑO
Producción de concreto m ³	225	5625	67 500
# viajes (6.0 m ³) promedio)	38	938	11 250
Agua para concreto m ³	41	1013	12 150
Agua de lavado m ³	10,1	253,1	3 037,5
Agua para concreto galones	10 700	267 503	3 210 040
Agua de lavado galones	2 675	66 876	802 510
Agua de lavado por viaje galones	71	71	71

Fuente: elaboración propia.

El esquema planteado para el reúso del agua, permite una utilización eficiente del recurso hídrico, ya que el tanque de almacenamiento cuenta con una capacidad de proveer agua para el lavado del interior de los camiones de por lo menos 3 días sin que sea necesaria la utilización de agua limpia en este proceso, el excedente de esta agua se emplea en los patios de agregados y vías de acceso para el control de las partículas de polvo, que provienen de su manejo dentro de la planta. En la siguiente figura se muestra el flujo que sigue el agua durante su reutilización dentro de la planta de lavado.

Figura 33. Reúso del agua captada en las pilas de lavado



Fuente: elaboración propia, con programa adobe Illustrator.

Estos dos procesos (mezcla y riego de materiales) no generan ninguna descarga directa de aguas residuales, ya que el agua forma parte de la composición del concreto premezclado y la otra se evaporará luego de su aplicación.

5. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA REUTILIZACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS INDUSTRIALES

5.1. Costos asociados al manejo de los desechos sólidos y aguas industriales

Hay varias consideraciones a tomar en cuenta en el manejo de costos asociados a este tema, por lo que es necesario describirlos según su impacto en un período. Por un lado, se tienen los costos fijos, que son todos aquellos que deben pagarse sin importar si se produce mayor o menor cantidad de unidades de un determinado producto, entre los que se pueden mencionar los arrendamientos, pago de seguros, depreciaciones, préstamos, luz, entre otros; es decir, que aunque la operación de una planta productora de concreto este activa o no, así produzca 100 o 5 000 unidades siempre deberá pagarse el mismo valor por estos conceptos, siendo estos costos los que no varían respecto de un período de tiempo específico.

Los costos variables son todos los que se cancelan de acuerdo al volumen de producción, tal como la mano de obra, misma que va a depender del esquema de pago que se maneje, ya que puede variar según la contratación del personal y podría contener parte fija y parte variable; dentro de estos costos también se encuentra la materia prima que se utilizará de acuerdo a la cantidad que se esté produciendo, por lo tanto, si existe un volumen creciente de la producción, será necesario una mayor cantidad de materia prima para la fabricación de productos, lo cual genera un costo variable en un período específico y que va en función de su utilización dentro del proceso.

Adicional a este tipo de costos fijos y variables, se debe realizar un análisis completo del impacto que se incluye por el manejo de los desechos provenientes del concreto, es por ello, que se habla de un costo completo, que incluye todos los costos asociados al manejo de los desechos sólidos y el agua proveniente de labores de lavado de camiones.

La ecuación del costo completo sería:

$$\mathbf{CC = CE + CR + CT + CA}$$

Donde:

CE = costo de la extracción

CR = costo de recolección

CT = costo de transporte

CA = costo del agua (lavado)

Con el paso del tiempo se ha demostrado que el manejo de los desechos siempre genera un costo, situación que hasta el momento no se le ha puesto el suficiente interés para un adecuado manejo, ya que no es posible su eliminación.

De no actuar rápidamente los desechos terminan afectando las operaciones, al limitar el espacio de maniobra dentro de las instalaciones, haciendo que los costos indirectos al concreto vayan en aumento y en corto tiempo la convierten en inoperante e insegura para su funcionamiento.

Ya sea por ser dispuestos en rellenos o vertederos o por ser llevados a puntos negros dentro de la ciudad, en su mayoría lo que representa impactos al ambiente y, que hoy no se están considerando por los entes estatales reguladores del tema, haciendo que este material al no ser reutilizado como materia prima para otros procesos, tendrá que ser explotado de las canteras, generando con ello costos por explotación que a lo mejor no debieron ser ejecutados de aprovechar de mejor manera los materiales que aún pueden ser reutilizados de actividades como el propuesto con sistemas de lavado dentro de las plantas productoras.

Otro de los rubros importantes a considerar es el del transporte, que muchas veces resulta ser más caro que el acarreo mismo del concreto en buenas condiciones. De igual forma deja de considerarse para el análisis las labores necesarias para la descarga y manejo de los materiales en el punto de disposición final, requiriendo en la mayoría de las veces el pago de maquinaria para la conformación de terraplenes donde los residuos son depositados. Sumado a esto se tiene el costo del agua que es utilizada para labores de limpieza de los camiones mezcladores y que de no contemplar algún sistema de recuperación, esta irá a parar a los cuerpos receptores sin haber sido utilizada alguna vez dentro del proceso productivo.

Para realizar el análisis se consideró diferentes escenarios según el tipo y capacidad de las plantas ubicadas en la ciudad de Guatemala, tomando como referencia la producción estimada de una planta mediana con 20 camiones mezcladores para efectos de cálculo se presentan los siguientes datos en la tabla XIII.

Tabla XIV. **Producción anual de distintas plantas por grupos**

Producción por tipo de planta	m³ día	m³ mes	m³ anual	No. Camiones
Alta	600	20 000	230 000	40
Mediana	400	10 000	115 000	20
Baja	85	2 000	23 000	5 – 6

Fuente: elaboración propia

A partir de esta consideración, se calcula la cantidad de desechos que se generan anualmente para una planta de producción mediana para Guatemala con los siguientes conceptos:

- Cantidad de acarreo por metro cúbico de ripio pagado por extracción
- Cantidad de material que podría reutilizarse
- Cantidad de agua utilizada para lavado de unidades

5.2. Costos para un sistema no mecánico

- Materiales para construcción de una pila de lavado
- Mano de obra más prestaciones
- Tiempo de ejecución
- Recuperación de material
- Recuperación de agua

Cada molde es fabricado de una aleación de aluminio y acero, lo que permite que sean muy durables y con la posibilidad de darles varios usos es prácticamente ilimitada con un mantenimiento adecuado.

5.3. Costos para un sistema mecánico

Se clasifican como sistema mecánico, a las plantas recicladores descritas en la sección 3.3.1. donde se describen diferente tipos de máquinas recicladoras utilizadas en la industria del concreto premezclado en países desarrollados, hoy día esta tecnología se encuentra disponible para ser implementada en el país para la conservación y los recursos naturales y dar un tratamiento adecuado a los desechos generados de la industria productora de concreto. Para el análisis se tomaron en cuenta los costos de implementación para la marca BFK Six Shooter por sus aplicaciones en la industria a nivel mundial.

Considerando que en la ciudad de Guatemala existen instaladas alrededor de 5 plantas dedicadas al desarrollo de concreto, que cumplen con esta clasificación, fácilmente se pueden proyectar los valores para asociarlos a los costos que eso implica en el tiempo.

Tabla XV. **Datos de planta tipo mediana**

Producción (m ³ /mes)	10 000
Días de trabajo por mes	24
Meses de trabajo en el año	11,5
Concreto residual proyectado en (%)	3
Concreto residual mes (m ³ /mes)	300
Núm. de camiones	20
Viajes diarios por camión	3
Viajes totales en el mes	1 440
Cantidad de agua p/lavado 1 camión (lt)	250
Cantidad de agua p/lavado 1 camión (m ³)	0,25

Fuente: elaboración propia.

También debe estimarse una recuperación de materiales luego de implementar un proceso mecánico de lavado de concreto, siendo esta la parte del proceso de mayor impacto económico, pues dichos materiales pueden ser reutilizados dentro del proceso de carga para producir nuevos concretos y normalmente no están siendo aprovechados por las compañías productoras en Guatemala.

Tabla XVI. **Proporción de materiales recuperados**

Porcentaje aproximado en volumen de concreto tipo	
Gruesos (30 % a 50 %)	40
Finos (24 % a 28 %)	26
Cemento (10 % a 15 %)	15
Agua (10 % a 20 %)	18

Fuente: elaboración propia.

El costo aproximado de estos equipos mecánicos de lavado, oscila en los \$47 600,00 dólares norteamericanos, considerando un 15 % de pago de impuestos y gastos administrativos aduanales, no incluidos dentro del precio de importación, esto resultaría a un monto de US \$54 740,00, esto sería equivalente a una inversión de capital de Q426 972,00 por lo que es esencial calcular el tiempo aproximado de amortización.

Ecuación 1

$$\text{Tiempo de amortización} = \frac{\text{Costo del sistema BFK}}{\text{Costo sin sistema BFK}}$$

- Costos del sistema BFK Six-Shooter Reclaimer

El sistema tiene un costo de US \$47 600,00 más impuestos y gastos administrativos del equipo puesto en Guatemala, que equivaldría a un 17 % (US \$8 092,00), adicionalmente costos por montaje, materiales y repuestos de US \$13 700,00, en total sumaría un monto por equipo instalado de US \$69 392,00 que equivale a Q575 953,00, a un cambio de Q8,30 por US \$1,00. Para su operación y mantenimiento se considera un promedio mensual de Q 4 300,00 por concepto de suministros y energía utilizada para su funcionamiento; total año Q51 600,00. Lo que estaría representando entre equipo instalado y operación y mantenimiento al primer año una suma total de:

C = inversión + operación primer año

C = Q575 953,00 + Q51 600,00

C = Q627 553,00

- Costos sin un sistema mecánico

Para esto se debe calcular el equivalente del costo completo que requiere el manejo de los desechos sólidos provenientes del concreto de una planta productora sin un sistema de lavado adecuado.

Costo de extracción de ripio o lodos industriales Q26,00*m³

$$\begin{aligned}
 \text{Cantidad de desechos} &= \text{cantidad de metros cúbicos producidos} * \\
 \text{porcentaje de residuos} & \\
 &= 10\,000 \text{ m}^3 * 0,03 \text{ porcentaje desecho mes} \\
 &= 300 \text{ m}^3 \text{ mensuales} \\
 &= 300 \text{ m}^3 * \text{Q26,00/ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Costo de extracción} = \text{Q7 800,00/mes} * 12 \text{ meses}$$

$$\text{Costo de extracción} = \text{Q93 600,00 al año}$$

Para el costo de recolección se considera un tiempo aproximado de 15 minutos para cargar un camión, tiempo que incluye la limpieza de las fosas de lavado y apilado de los materiales, la carga de las palanganas y limpieza del área final.

$$\text{Costo recolección} = \text{cantidad de viajes al año} * \text{tiempo (hr)} * \text{costo hora máquina}$$

$$= 456 \text{ viaje/año} * 0,25 \text{ h/viaje} * \text{Q350,00/h (cargador)}$$

$$\text{Costo recolección} = \text{Q39 900,00 al año}$$

Dentro de este costo se considera el de transporte. El costo del agua para el lavado de camiones se calcula tomando la cantidad de agua utilizada por viaje y su costo promedio mensual de Q8,00 por metro cúbico.

$$\begin{aligned}
\text{Costo del agua} &= \text{costo del agua} * \text{agua de lavado por viaje} * \# \\
&\quad \text{viajes mes} \\
&= 8,00/\text{m}^3 * 0,25 \text{ m}^3/\text{viaje} * 1\,440 \text{ viaje/mes} * 12 \\
&\quad \text{mes/año} \\
\text{Costo del agua} &= \text{Q34 560,00 al año}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Costo sin sistema BFK} &= \text{costo extracción} + \text{recolección} + \text{agua} \\
\text{Costo sin sistema BFK} &= \text{Q93 600,00} + \text{Q39 900,00} + \text{Q34 560,00} \\
\text{Costo sin sistema BFK} &= \text{Q168 060,00 año}
\end{aligned}$$

$$\text{Tiempo de amortización} = \text{Q575 953,00} / \text{Q168 060,00} = 3,4 \text{ años}$$

Amortización de la inversión se recupera 3,4 años, implementando un sistema mecánico de lavado, el cual ofrece ventajas económicas, ambientales, sociales y operativas al eliminar el alto costo de la extracción de desechos y haciendo un uso responsable de los recursos naturales.

5.3.1. Materiales y suministros

El modelo X2 six-shooter, tiene una capacidad de lavar aproximadamente de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ metro cúbico en quince minutos de descarga, para lo cual muchos factores intervienen, generalmente, inciden el tamaño y la forma, las aberturas de la pantalla y la limpieza de los equipos, entre otras.

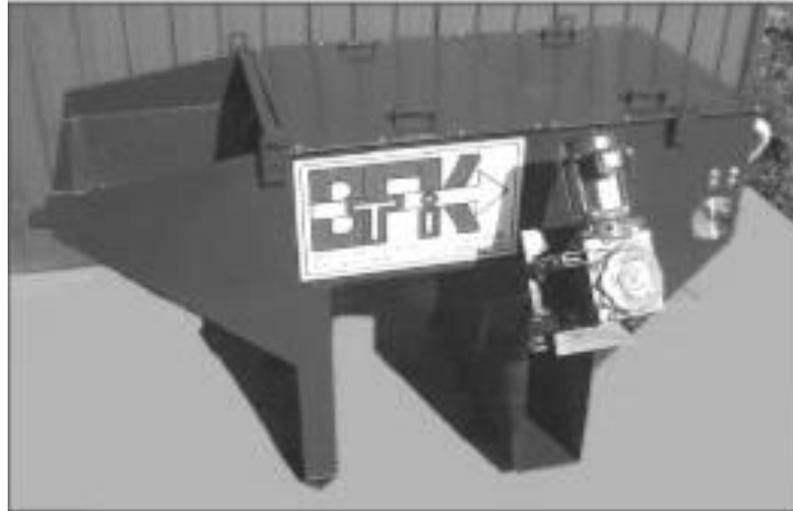
El equipo está compuesto básicamente de una cubierta de ensamble de acero de $\frac{1}{2}$ pulgada y $\frac{1}{4}$ de pulgada diseñada para expulsar por derecha o izquierda la descarga de arena o agregados utilizados en el proceso de lavado de concreto.

El tamaño del equipo dependerá según su capacidad y volumen de descarga anual, está alimentado por una tolva de 3 pies de largo por 8 pies de ancho, en el que caben aproximadamente $\frac{1}{2}$ metro cúbico de capacidad, es ajustable en sus compuertas de entrada del tornillo para regular la velocidad de alimentación en el recuperador.

Los pernos de la cubierta, para el acceso a los conjuntos y componentes internos con capacidad de 11 galones. La tubería integral es de 2 pulgadas para dirigir el flujo de agua a los lugares críticos para la limpieza adecuada de los materiales. Boquilla de lavado equipado con tapón de expansión desmontable para facilitar su limpieza y posee una tubería de 8 pulgadas de drenaje y limpieza de la caja de retención. Posee un motor reductor, de accionamiento directo 3 horsepower, 230/460 VCA y un buje delantero mecanizados UHMW el cual elimina el cojinete y el sello interior.

Panel de control de interruptor principal, con arrancadores de motor, fusibles y cableado para la operación. El sistema de agua cuenta con una bomba sumergible de 5 *horse power* de 230/460 VCA, permite tomar agua del recuperador por medio de una tubería de 2 pulgadas de diámetro. Sus dimensiones generales son de transporte y montaje son de 10'-6" x 6' x 8' de ancho y 6" de alto.

Figura 34. **Sistema BFK Six- Shooter**



Fuente: BIBKO. *Folleto de recicladoras de concreto*. www.bibko.com. [Consulta: marzo de 2011].

5.3.2. **Equipo**

Está conformado por un módulo receptor, equipado de tolvas de captación para concreto, con motor de 10 *horse power*, bomba centrífuga de agua, tornillo sinfín, mangueras y sistemas de tamizado que permite la separación de los agregados según su tamaño, así como, de un panel de control que acciona los componentes por medio de alimentación eléctrica, provisto de sistemas de control y paros de emergencia diseñados para trabajar de forma autónoma hasta que los materiales recibidos dentro del componente hayan sido expulsados por completo.

5.3.3. Mano de obra

Esta se compone de calificada y no calificada, la mano de obra calificada, será la responsable de la planificación, por otra parte de aquellas que asimilarán el uso, cuidado, operación y mantenimiento del equipo, de acuerdo con la capacitación recibida por parte de quien suministra el equipo; por otro lado, estará la mano de obra no calificada quien será la responsable de hacer todo el trabajo de andamiaje donde estaría ubicado el equipo; en tal sentido, se describe el actuar de cada uno.

5.3.3.1. Mano de obra calificada

- Técnicos para el montaje

De acuerdo con lo descrito en el numeral del índice 5,3 donde se hace el análisis costos del equipo Sistema BFK Six-Shooter, en este ya tiene inmerso el monto que correspondería a montaje, materiales y repuestos, que corresponde a un valor de US \$13 700,00, en consecuencia, la puesta en marcha es responsabilidad del suministrador de equipo, quien proveerá a los técnicos expertos en el tema.

Por otro lado, cabe indicar, que se hace necesario, contar con apoyo para la instalación del mismo, el cual irá en la línea de capacitación, para posteriormente este personal será responsable de la operación y mantenimiento del equipo, para el efecto se hace necesario contar con el siguiente personal:

- Electricistas

Estos tendrán la responsabilidad de capacitarse, en parte, durante la instalación del equipo y de manera teórica, en todo lo relacionado al sistema eléctrico del equipo, asimismo, de interpretar las guías o instructivos que este trae, para posteriormente poner en práctica lo aprendido; dichas personas asignadas, se tomarían del *staff* de electricistas con que cuenta la empresa.

- Mecánicos

Estos tendrán la responsabilidad de capacitarse, en parte, durante la instalación del equipo y de manera teórica, en todo lo relacionado al sistema mecánico del equipo, asimismo, de interpretar las guías o instructivos que este trae, para luego poner en práctica lo aprendido; dichas personas asignadas, de igual manera que los electricistas, se tomarían del *staff* de mecánicos que ya tiene la empresa.

- Planificación y obra civil

Prácticamente esta actividad será responsabilidad del planificador de la empresa, en este caso del ingeniero de planta, con apoyo de ingeniero civil, con el objeto de desarrollar toda la planificación, que va desde el estudio de factibilidad de implementación del equipo, preparación de la obra civil, adquisición del equipo, proceso de instalación, proceso de capacitación, puesta en marcha, operación, mantenimiento y mecanismos adicionales de mitigación de impacto ambiental.

5.3.3.2. Mano de obra no calificada

Como ya se indicó anteriormente, será la responsable de hacer todo el andamiaje donde se ubicará e instalará el equipo, quienes recibirán instrucciones del personal calificado, de acuerdo con su asignación, esta mano de obra no calificada comprenderá:

- Albañilería

Personal responsable de hacer toda la obra gris necesaria donde será ubicado el equipo e instalado, que comprende bases de hormigón, bases de tablero, columnas, paredes, techo, drenajes, tubería, acabados y otros relacionados, todas estas acciones con supervisión de profesionales del ramo (civiles, electricistas), la mano de obra estaría compuesta por un albañil de profesional y todo su *staff* de ayudantes, los cuales serán contratados únicamente por el período que dura la obra.

- Construcción

Es la puesta en marcha de los trabajos, cuando se haya cumplido con todos los requisitos de ley para la construcción, que va desde la afinación de diseños, asignación de recursos, planificación, contar con las licencias correspondientes (de construcción, ambientales y otras que apliquen) y contratación de personal para la obra gris; por último la instalación de equipo acompañado de la capacitación correspondiente.

CONCLUSIONES

1. El estudio realizado con respecto al proceso de concreto premezclado, relacionado con su producción, traslado, entrega y lavado de camiones, viene a establecer factores importantes para detectar en qué momento pueden ocasionarse desechos sólidos como líquidos y las medidas que se pueden considerar para mitigar el impacto de estos en el ambiente.
2. Se ha determinado que durante el proceso del concreto premezclado, existen variables que pueden ocasionar la generación de desechos sólidos; de acuerdo a un análisis real que se realizó, para el desarrollo del trabajo, estos pueden mitigarse tanto para que no se produzcan, así como, reutilizarse o darles otro uso, previo a llegar al punto final de desecho, el cual de igual manera en Guatemala, la empresa Punto de Análisis, tiene las medidas pertinentes para su disposición final en sitios autorizados.
3. Un punto crítico es el desecho de agua que resulta del lavado de los camiones que conducen el concreto, dado que si esta no se reutiliza, se desecha o traslada a cuerpos receptores, pueden terminar en aguas subterráneas, ríos, lagos, entre otros, ocasionando impactos en el ambiente; por el aumento de temperatura, contaminación por grasas y aceites, sólidos suspendidos, nutrientes, variación del pH, metales pesados y otros. El estudio establece medidas de mitigación que pueden aplicarse para minimizarlo.

4. En relación a los aditivos químicos que pudieran contener las aguas residuales, resultado del lavado, se ha demostrado por ensayos realizados en otros países, que el efecto de estos es insignificante debido a que las sustancias activas, en un corto período, se encuentran casi completamente unidas de modo irreversible a las partículas sólidas del cemento. Es por esto que una separación de estas sustancias activas durante el proceso de reciclaje queda excluida.
5. Con este trabajo también se ha determinado que el desarrollo del proceso de concreto premezclado en el medio, aplica normas internacionales para su elaboración, lo cual hace que esta industria tenga fortalezas.
6. Basados en la información recabada, se pudo determinar que en la actualidad una de las industrias con mayor auge en Guatemala es la de producción de concreto; en tal sentido, toda empresa dedicada a este proceso se ha vuelto más competitiva, en calidad y eficiencia, por tal razón, uno de los puntos importantes que consideran dentro de sus procesos, es contar con equipo moderno, personal capacitado y una adecuada planeación.
7. De acuerdo con la competitividad que existe en la actualidad, el presente trabajo hace un análisis de costos entre procesos mecanizados y no mecanizados, como referencia de cuál puede ser el costo que implique a una empresa no contar con equipo moderno, con el objeto de mitigar en primer término costos, en segundo término salir del mercado por ineficiencia y en tercer término ser una causa de impactos ambientales que no pueda controlar.

8. Uno de los puntos considerados en el desarrollo de este estudio es la presentación de equipo y mecanismos de mitigación de impacto ambiental, para el manejo de desechos sólidos y líquidos, donde algunas empresas ya cuentan con estos, específicamente en el de manejo de las aguas residuales, respecto a los sólidos, las empresas se las han ingeniado para reutilizar el concreto, en calles, aceras, gradas, etcétera, lo cual hace ver que la industria guatemalteca del concreto premezclado, esta trabajando para el desarrollo y cuidado del ambiente.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario que se desarrolle una buena planificación desde la producción, traslado y entrega del concreto, para evitar que sufra defectos, asimismo, que se fortalezca el muestreo, con el objeto de cumplir con las normas establecidas para este tipo de proceso.
2. Las empresas para ser competitivas deben desarrollar métodos que les permita ser más eficientes en su procesos, asimismo, en primer término, cumplir con las medidas de mitigación de impacto ambiental, que les pueda establecer el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en segundo término, toda empresa debe tomar conciencia social, en tal sentido, de que todo aquello que no se pueda reciclar, reutilizar y otra acción, debe utilizar mecanismos adecuados para reducir impactos al ambiente.
3. Es importante que las empresas cuenten con personal capacitado y conocimiento de toda la normativa aplicable, tanto para el desarrollo del concreto, como normas municipales, ambientales y otras aplicables, que permitirán fortalecer la planificación.
4. Respecto a las aguas residuales producidas por el lavado de camiones, las empresas deben considerar el monitoreo constante, a través, del análisis de las aguas residuales para determinar el grado de contaminación, si existiera y las medidas de mitigación al respecto.

5. Con una buena planificación, programación, ejecución, dirección y control, así como, la estricta observancia de normas nacionales e internacionales, especificaciones técnicas y económicas se pueden reducir costos y mejorar la productividad, también minimizar la contaminación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

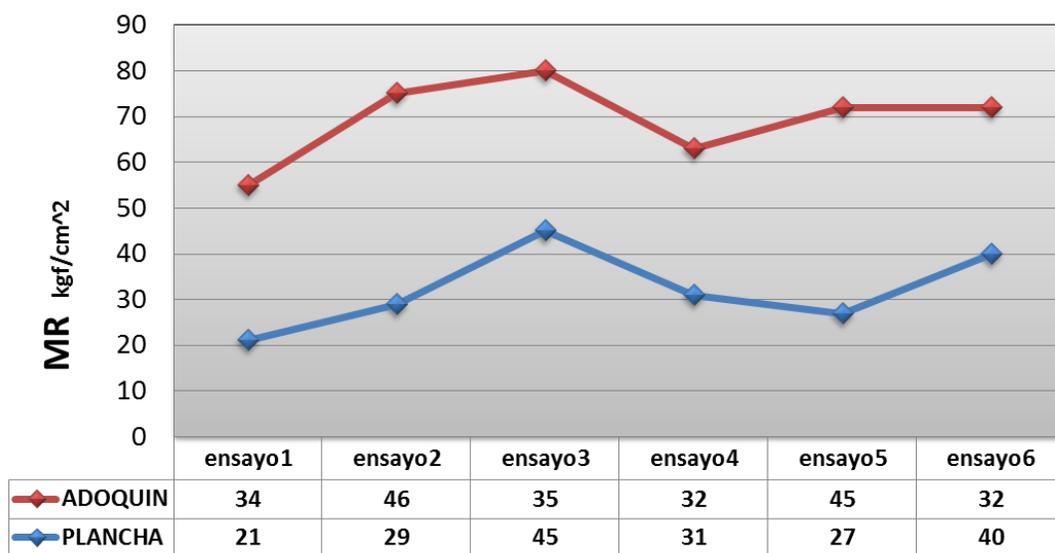
1. American Concrete Institute. *Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*. Farmington Hills, Michigan 48333-9094 USA, ACI 304. 201 p.
2. BIBKO® Umwelttechnik & Beratung GmbH. Referencias. (en línea) <http://www.bibko.com/en/precast-industryconcrete-goods-industry/> [Consulta: diciembre de 2010].
3. James L. COPE, *Guía práctica para la colocación de concreto*. EE.UU. American Concrete Institute ACI 304, EEUU, 1993.
4. KOSMATKA Steven H; PANARESE William C. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Instituto Mexicano y del Concreto, 1992. 230 p.
5. _____ *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Farmington Hills, Michigan 48333-9094 USA, ACI 318. 490 p.
6. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006, Guatemala 5 de mayo de 2006. 15 p.

7. SAPAG CHAIN, Nassir. *Evaluación de proyectos de inversión en la empresa*. México. Pentrice-Hall, 2004. 412 p.
8. ODISA ® Concrete Equipment Since. (en línea)
http://odisa.com/eng/catalogue/odisa_concrete_equipment_cat1.pdf
[Consulta: enero de 2011].

APÉNDICE

Apéndice 1. Resistencia a la flexión de prefabricados

Resistencia a la Flexión de prefabricados



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis del agua residual tipo especial

MIXTO LISTO, S.A. Planta El Naranja Descarga de Aguas Residuales de Tipo Especial

Parámetro	Descarga	Inicial	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Temperatura	23 °C	TCR+/- 7	TCR+/- 7	TCR+/- 7	TCR+/- 7	TCR+/- 7
Grasas y aceites	6 ppm	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	176 ppm	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	1.00 ppm	1400	100	50	25	20
Fósforo total	1.05 ppm	700	75	30	15	10
pH	7.53	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	< 3 NMP/100 mL	<1 x 10 ⁵	<1 x 10 ⁵	<1 x 10 ⁵	<1 x 10 ⁴	<1 x 10 ⁴
Arsénico	< 0.0050 ppm-AS	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	< 0.025 ppm-Cd	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	< 0.010 ppm-CN-	6	3	1	1	1
Cobre	< 0.03 ppm-Cu	4	4	3	3	3
Cromo (VI)	< 0.005 ppm-Cr	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	<0.00020 ppm-Hg	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	< 0.005 ppm-Ni	6	4	2	2	2
Plomo	< 0.10 ppm-Pb	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	0.41 ppm-Zn	10	10	10	10	10
Color	312 u Pt-Co	1500	1300	1000	750	500
Carga DBO ₅	Kg/día	<3,000	<3,000	<3,000	<3,000	<3,000
DBO ₅	84 ppm					<200
DQO	174 ppm	L.M.P. no establecido en Acdo. Gub. 236-2006				
Sólidos sedimentables	0.1 ml/Lt	L.M.P. no establecido en Acdo. Gub. 236-2006				

Fuente: Resultados del análisis de Análisis del agua residual tipo especial
Planta el Naranja Mixto Listo.

Anexo 2. **Reporte comparación de resistencias de planchas versus adoquín, ambos de concreto**

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com			OT	17867						
				FECHA	2011-11-18						
				PÁGINA	1 DE 1						
				FECHA IMPRESIÓN	2011-12-21						
Cliente	MIXTO LISTO		Proyecto	MANEJO DE SOBRANTES DE CONCRETO							
Dirección	JUAN JOSE LETONA / GABRIEL CASASOLA										
Contacto	15 AV. 17-01 Z. 6 PLANTA NORTE		Muestra	PLANCHA							
Teléfono	52042590		Analista	RICARDO RODAS							
INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXION DE PREFABRICADOS											
No. Lab.	Identificación Cliente	Medidas Generales (cm)	Medidas Especimen (mm)			Masa (kg)	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	MODULO DE ROTURA	
			Largo	Ancho	Alto					(N/mm ²)	(kg/cm ²)
1	PLANCHA	-	501.00	490.00	100.00	52.730	-	-	-	2.094	21
2	PLANCHA	-	500.00	496.00	99.00	55.300	-	-	-	2.835	29
3	PLANCHA	-	504.00	500.00	102.00	56.770	-	-	-	4.422	45
4	PLANCHA	-	500.00	500.00	103.00	54.780	-	-	-	3.087	31
5	PLANCHA	-	505.00	493.00	102.00	55.480	-	-	-	2.696	27
6	PLANCHA	-	508.00	500.00	99.00	56.180	-	-	-	3.909	40
7	ADOQUIN	-	263.00	261.00	105.00	13.910	-	-	-	3.332	34
8	ADOQUIN	-	259.00	259.00	106.00	15.390	-	-	-	4.549	46
9	ADOQUIN	-	265.00	265.00	100.00	13.580	-	-	-	3.419	35
10	ADOQUIN	-	280.00	258.00	107.00	13.890	-	-	-	3.168	32
11	ADOQUIN	-	269.00	269.00	104.00	14.550	-	-	-	4.379	45
12	ADOQUIN	-	269.00	260.00	100.00	14.250	-	-	-	3.152	32
 Analista						 Ing. Mario de León Jefe de Laboratorio					
OBSERVACIONES:											
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.											

SGL-CT-CP-IE-09/REV 01

Fuente: Informe de resultados emitido por el Centro Tecnológico del Cemento, Cementos Progreso S,A.