



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CEMENTO EN CONCRETOS PREMEZCLADOS,
PARA EL INCREMENTO EN LA RENTABILIDAD DE ESTA INDUSTRIA Y
LA DISMINUCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTE GENERA**

Alan Augusto de León Quiñónez

Asesorado por el Ing. Edgar Roberto de León Navarro

Guatemala, septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CEMENTO EN CONCRETOS PREMEZCLADOS,
PARA EL INCREMENTO EN LA RENTABILIDAD DE ESTA INDUSTRIA Y
LA DISMINUCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTE GENERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALAN AUGUSTO DE LEÓN QUIÑÓNEZ

ASESORADO POR EL ING. EDGAR ROBERTO DE LEÓN NAVARRO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

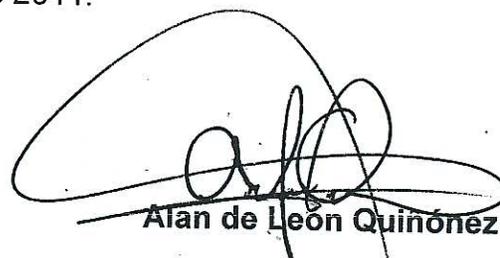
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Francisco Arturo Hernández Arriaza
EXAMINADOR	Ing. Cesar Augusto Akú Castillo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CEMENTO EN CONCRETOS PREMEZCLADOS, PARA EL INCREMENTO EN LA RENTABILIDAD DE ESTA INDUSTRIA Y LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTE GENERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 16 de junio de 2011.



Alan de León Quinónez

Guatemala, 15 de julio de 2013

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Urquizú:

Atentamente me dirijo a usted, para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación: **REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CEMENTO EN CONCRETOS PREMEZCLADOS, PARA EL INCREMENTO EN LA RENTABILIDAD DE ESTA INDUSTRIA Y LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTE GENERA**, elaborado por el estudiante Alan Augusto de León Quiñónez, tema para el cual fui asignado como asesor.

Considero que se han cumplido las metas propuestas al inicio del trabajo y lo encuentro completamente satisfactorio, por lo que recomiendo la aprobación del mismo.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente,

Ingeniero Industrial
Edgar Roberto De León Navarro
Colegiado No. 8548


Ing. Edgar Roberto De León Navarro
Colegiado No. 8548



REF.REV.EMI.134.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CEMENTO EN CONCRETOS PREMEZCLADOS, PARA EL INCREMENTO EN LA RENTABILIDAD DE ESTA INDUSTRIA Y LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTE GENERA**, presentado por el estudiante universitario **Alan Augusto De León Quiñónez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Danilo González Trejo
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO ACTIVO 6182

Ing. Erwin Danilo González Trejo
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.240.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CEMENTO EN CONCRETOS PREMEZCLADOS, PARA EL INCREMENTO EN LA RENTABILIDAD DE ESTA INDUSTRIA Y LA DISMINUCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTE GENERA**, presentado por la estudiante universitaria **Alan Augusto De León Quiñónez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2013.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 631.2013

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: **REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CEMENTO EN CONCRETOS PREMEZCLADOS, PARA EL INCREMENTO EN LA RENTABILIDAD DE ESTA INDUSTRIA Y LA DISMINUCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTE GENERA**, presentado por el estudiante universitario **Alan Augusto De León Quiñónez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Bocinos
Decano



Guatemala, 10 de septiembre de 2013

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por llenar mi vida de tantas bendiciones y siempre ayudarme a alcanzar cada objetivo trazado.
Mis padres	Por su apoyo incondicional a través de toda mi vida, llegar a este punto ha sido gracias a ellos.
Mi esposa	Por todo su amor, respeto, fidelidad y apoyo incondicional en todos los aspectos y proyectos como matrimonio.
A mis hijos	Por ser la luz que guía mis decisiones y la motivación a emprender nuevos retos.
Mi hermano	Por la unión inquebrantable que nos une.
Mis abuelos	Por su amor, apoyo y consejos a lo largo de mi vida.
Carmen Ruano	Por su cariño y apoyo desinteresado en muchos de los momentos de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Empresa Mixto Listo.....	1
1.1.1. Reseña histórica.....	2
1.1.2. Ubicación.....	3
1.1.3. Misión.....	5
1.1.4. Visión.....	5
1.1.5. Valores y ética.....	6
1.1.6. Estructura organizacional.....	7
1.1.6.1. Organigrama.....	7
1.2. Historia del concreto.....	8
1.2.1. Concretos de cementos naturales.....	9
1.2.2. Nacimiento de cemento Portland y el concreto armado.....	10
1.2.3. Auge de la industria del concreto.....	11
1.2.4. Cultura medioambiental.....	13
1.2.5. Historia del concreto en Guatemala.....	14
1.3. Características y desempeño del concreto.....	15
1.3.1. Características estructurales.....	18

1.3.2.	Características físicas	19
1.3.3.	Fraguado	22
1.3.4.	Efectos en el concreto fresco	23
1.3.4.1.	Cohesión y trabajabilidad.....	24
1.3.4.2.	Revenimiento.....	24
1.3.4.3.	Asentamiento y exudación	26
1.3.4.4.	Resistencia del concreto.....	28
1.3.5.	Durabilidad del concreto	29
1.4.	Tipos de concreto.....	29
1.5.	Componentes del concreto.....	30
1.5.1.	Cemento.....	31
1.5.1.1.	Tipos de cemento	32
1.5.1.2.	Controles de calidad en el cemento	34
1.5.2.	Agua.....	37
1.5.2.1.	Controles de calidad en el agua.....	39
1.5.3.	Agregados	42
1.5.3.1.	Agregados gruesos (grava)	44
1.5.3.2.	Agregados finos (arenas).....	44
1.5.3.3.	Controles de calidad en los agregados.....	45
1.5.4.	Aditivos.....	48
1.5.4.1.	Tipos de aditivos.....	49
1.5.4.2.	Controles de calidad en aditivos	50
1.6.	Proceso de fabricación del concreto.....	51
1.6.1.	Dosificación	52
1.6.2.	Mezclado.....	52
1.6.3.	Transporte y manejo del concreto	52
1.6.4.	Colocación del concreto	54
1.7.	Proceso de inspección y ensayo de las muestras	56

1.7.1.	Inspección en planta	57
1.7.2.	Ensayo de muestras hechas en planta	57
1.7.3.	Inspección en obra.....	59
1.7.4.	Ensayo de muestras en obra	59
1.8.	Impacto del uso del cemento	59
1.8.1.	Impacto económico del cemento en la industria concretera.....	60
1.8.1.1.	Costos de fabricación del concreto.....	60
1.8.2.	Impacto del cemento en el medio ambiente	61
1.8.2.1.	Descripción general del proceso de fabricación.....	61
1.8.2.2.	Impactos positivos.....	63
1.8.2.3.	Impactos negativos	63
1.8.3.	Impacto ambiental del cemento medido por la metodología de Huella de carbono.....	64
1.8.3.1.	Huella de carbono de la industria concretera en Guatemala.....	65
2.	DIAGNÓSTICO SITUACIONAL.....	67
2.1.	Consumo de cemento en los concretos producidos.....	67
2.1.1.	Concreto representativo.....	68
2.2.	Variaciones de resistencias de concreto.....	69
2.2.1.	Variabilidad de resistencias en plantas	70
2.2.2.	Variabilidad de resistencias en obras.....	72
2.3.	Proceso de producción	73
2.4.	Proceso de control de calidad.....	76
2.5.	Testeos para determinar situación actual bajo condiciones ideales	81

2.5.1.	Condiciones ideales en subproceso de producción.....	83
2.5.2.	Condiciones ideales en subproceso de control de la calidad.....	84
2.5.3.	Condiciones ideales en el proceso completo	86
2.6.	Determinación de la rentabilidad actual de la empresa concretera Mixto Listo y de la industria concretera en Guatemala	89
3.	PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN EN EL USO DE CEMENTO EN LOS CONCRETOS PREMEZCLADOS.....	93
3.1.	Optimización de los diseños de concreto	93
3.1.1.	Criterios de la ACI (de las siglas Instituto del Concreto Americano) para el diseño por resistencia del concreto	94
3.1.1.1.	Diseño de un concreto bajo criterios de ACI	96
3.2.	Oportunidades de eficiencia en el proceso del control de la calidad actual	105
3.2.1.	Inspección en planta.....	105
3.2.2.	Ensayo de muestras hechas en planta	106
3.2.3.	Inspección en obra	108
3.2.4.	Ensayo de muestras en obra.....	109
3.2.5.	Control estadístico.....	111
3.3.	Oportunidades de eficiencia en el proceso de producción.....	111
3.3.1.	Dosificación en planta	112
3.3.1.1.	Uso eficiente de materia prima en planta.....	112

	3.3.1.2.	Muestreo de humedades de materia prima	113
	3.3.1.3.	Proceso de carga	114
	3.3.1.4.	Mezclado del concreto	115
	3.3.2.	Transporte de concreto	117
	3.3.3.	Ajustes a concretos en obra.....	118
4.		IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	121
4.1.		Controles en materia prima.....	122
	4.1.1.	Control de humedades	122
4.2.		Plan de mantenimiento de plantas	124
	4.2.1.	Inspección de componentes.....	129
	4.2.2.	Verificación de balanzas en plantas	129
	4.2.3.	Certificación de balanzas en planta.....	129
	4.2.4.	Formatos de control	130
4.3.		Plan anual de capacitaciones	131
	4.3.1.	Laboratoristas de planta.....	132
	4.3.2.	Pilotos de camión mezclador	133
	4.3.3.	Operadores de planta	134
	4.3.4.	Ejecutivos de venta.....	135
	4.3.5.	Clientes.....	136
4.4.		Estandarización de procesos de control de calidad	136
	4.4.1.	Dotación de equipo	137
	4.4.2.	Formatos para control	139
5.		ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	141
5.1.		Caracterización y valoración de impactos ambientales	141
	5.1.1.	Emisiones al aire.....	142
	5.1.2.	Producción de desechos.....	143

	5.1.2.1.	Sólidos ordinarios	143
	5.1.2.2.	Tóxicos y peligrosos	144
	5.1.3.	Aguas pluviales, residuales domésticas e industriales	145
	5.1.4.	Materias primas y materiales de construcción	145
	5.1.5.	Suelo y las aguas subterráneas.....	146
	5.1.6.	Biodiversidad local.....	146
5.2.		Evaluación de impactos y síntesis.....	147
	5.2.1.	Valoración de impactos ambientales identificados	149
5.3.		Medidas de mitigación.....	149
	5.3.1.	Fase de construcción e instalación de la planta....	150
	5.3.2.	Fase de operación de la planta.....	153
	5.3.3.	Fase de abandono retiro técnico de la planta.	156
	5.3.4.	Responsabilidades en la aplicación de las medidas de mitigación	157
5.4.		Planes de manejo específicos	158
	5.4.1.	Programa de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional	158
	5.4.2.	Desechos sólidos ordinarios	159
	5.4.3.	Desechos sólidos tóxicos y peligrosos.....	160
	5.4.4.	Desechos líquidos	160
	5.4.5.	Gestión de riesgos.....	161
	5.4.6.	Cronograma de implementación y evaluación	161
6.		ANÁLISIS DE RESULTADOS Y MEJORA CONTINUA	163
	6.1.	Producción de concreto en plantas	163
	6.1.1.	Monitoreo y ajustes en procedimientos.....	163
	6.2.	Características del concreto fresco	165

6.2.1.	Monitoreo y ajustes a diseño.....	166
6.3.	Auditoría de mantenimiento preventivo a equipos	167
6.3.1.	Mantenimiento a equipos de dosificación (planta).....	167
6.3.2.	Mantenimiento a equipos de mezclado y distribución (flota).....	168
6.3.3.	Equipos y herramientas	169
6.3.3.1.	Equipo para muestreo	169
6.3.3.2.	Equipos para ensayos.....	170
6.4.	Presentación de resultados	170
6.4.1.	Indicadores de medición	171
6.5.	Análisis de información.....	172
6.5.1.	Reducción del impacto ambiental	172
6.5.2.	Incremento en la rentabilidad de la empresa.....	173
6.6.	Sistema de comunicación.....	174
6.6.1.	Comunicación de las auditorías al proceso	174
6.6.2.	Comunicación de resultados.....	174
6.6.3.	Comunicación de las necesidades de refuerzo a procesos	175
	CONCLUSIONES.....	177
	RECOMENDACIONES.....	179
	BIBLIOGRAFÍA.....	181

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de las plantas dosificadoras de concreto de Mixto Listo en el territorio de Guatemala	4
2.	Estructura organizacional de la empresa	8
3.	Diagrama indicativo de la resistencia (en porcentaje) que adquiere el concreto a los 14, 28, 42 y 56 días	21
4.	Componentes del concreto	31
5.	Carga de concreto en plantas dosificadoras.....	51
6.	Transporte de concreto en camión mezclador.....	54
7.	Colocación de concreto.....	55
8.	Planta dosificadora de concreto	74
9.	Planta premezcladora de concreto.....	74
10.	Planta móvil de concreto.....	75
11.	Vehículo auto cargable para la producción de concreto	76
12.	Gráficas de control para concretos convencionales	77
13.	Plan de Testeos para diagnóstico inicial al concreto	82
14.	Cálculo de compresión requerida.....	96
15.	Control propuesto para gestión de humedades de agregados	123
16.	Control propuesto para la inspección, verificación y certificación de balanzas en plantas dosificadoras de concreto.....	130
17.	Pantalla de sistema IB Probe	138
18.	Sensor de humedad de Command Batch.....	139
19.	Formatos para control automáticos generados por el sistema Command Alkon.....	140

TABLAS

I.	Evolución de la resistencia a compresión de un concreto con cemento tipo Portland normal.....	22
II.	Tipos de concreto.....	30
III.	Porcentaje permisible de sustancias dañinas en fracciones del agregado grueso	45
IV.	Granulometría del agregado grueso	46
V.	Máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas máximas permisibles	47
VI.	Granulometría del agregado fino	47
VII.	CO2 generado por la industria de concreto en Guatemala	65
VIII.	Consumo de cemento por familia de concreto.....	68
IX.	Resistencia de concreto en muestras elaboradas en plantas	71
X.	Resistencia de concreto en muestras elaboradas en obras.....	72
XI.	Factor de corrección para la desviación estándar para menos de 30 ensayos	95
XII.	Desviación estándar del concreto en muestras elaboradas en plantas..	106
XIII.	Desviación estándar del concreto en planta con procesos supervisados y no supervisados	108
XIV.	Desviación estándar del concreto en muestras elaboradas en obras.....	109
XV.	Desviación estándar del concreto en obra con proceso supervisados y no supervisados	111
XVI.	Medición inicial en cumplimiento de procedimientos estándar en muestreos en humedades de agregados	114

XVII.	Relación entre tiempos de mezclado con ajustes de agua en la mezcla.....	116
XXVIII.	Relación entre despachos con errores en tiempo estimado de viaje con despachos con dosis incorrecta de aditivos	118
XIX.	Efectos del incumplimiento de <i>slump</i> en obra a la resistencia del concreto al ajustar la mezcla en obra	119
XX.	Propuesta de plan de capacitaciones módulo general	132
XXI.	Propuesta de plan de capacitaciones módulo específico para laboratoristas de planta.....	133
XXII.	Propuesta de plan de capacitaciones específico para pilotos de camión mezclador.....	134
XXIII.	Propuesta de plan de capacitaciones específico para operadores de planta.....	135
XXIV.	Propuesta de plan de capacitaciones específico para ejecutivos de venta.....	136
XXV.	Propuesta de plan de capacitaciones específico para clientes.....	136
XXVI.	Matriz de Leopold modificada para proyectos de operación de concretas.....	148
XXVII.	Valoración de impactos ambientales identificados	149
XXVIII.	Cronograma de implementación y evaluación.....	162
XXIX.	Resultados de auditoría a procedimiento de manejo de humedades en planta	164
XXX.	Resultados de auditoría a procedimiento de mezclado de concreto	165
XXXI.	Resultados de auditoría a resistencias de concreto en obra	166
XXXII.	Resultados de desempeño del concreto luego de ajuste a diseños	171

XXXIII. Disminución del impacto ambiental generado por la industria de cemento optimizando el uso de cemento en el diseño de los concretos..... 173

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
db	Decibeles
CO₂	Dióxido de carbono
F_c	F prima C, resistencia de diseño de los concretos
°C	Grados Centígrados
°F	Grados <i>Fahrenheit</i>
kg	Kilogramo
Kg/cm²	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
Kg/m³	Kilogramo sobre metro cúbico
Lb	Libra
psi	Libra sobre pulgada cuadrada
l	Litro
MPa	Mega Pascales
m	Metro
m³	Metro cúbico
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MEM	Ministerio de Energía y Minas
CO	Monóxido de carbono
ppm	Partículas por millón
%	Porcentaje
plg	Pulgada
Q	Quetzal, moneda de Guatemala

GLOSARIO

ACI	<i>American Concrete Institute</i> o Instituto Americano del Concreto, que tiene por objetivo promover el conocimiento del concreto, de la realización de seminarios, la gestión de los programas de certificación y la publicación de documentos técnicos.
Aditivos	Productos químicos que mejoran el desempeño y características del concreto en estado fresco o endurecido.
Áridos	Material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción.
ASTM	<i>American Society of Testing Materials</i> , es un organismo de normalización de Los Estados Unidos.
Cemento <i>Portland</i>	Material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, permitiendo la unión de fragmentos minerales entre sí.
Clinker	Caliza cocida, principal materia prima de la que se obtiene el cemento.

COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Colado	Proceso de vaciar el concreto en estado fresco en un molde para formar un elemento estructural o arquitectónico.
Command Alkon	Sistema integrado de software y hardware para empresas productoras de concreto premezclado, en el cual es posible operar y optimizar todos los procesos de dicho negocio.
Command Batch	Sistema de automatización del proceso de plantas para la producción de concreto, es parte del sistema integral Command Alkon.
Concreto postensado	Tipología de elementos estructurales de concreto sometidos intencionalmente a esfuerzos de compresión después del vertido del concreto fresco y posterior proceso de secado en sitio.
Concreto premezclado	Mezcla de agregados, agua y cemento hecho en una planta dosificadora y transportado en un camión agitador.
Concreto pretensado	Llamado también concreto presforzado, es una tipología de elementos estructurales de concreto sometidos intencionalmente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio.

COVEC	Código de valores, ética y conducta utilizado en la empresa Mixto Listo, parte del Grupo Progreso.
Equipo de bombeo	Equipo en donde los camiones mezcladores de concreto vacían el producto para poder elevarlo o trasladarlo por una tubería hacía un punto de difícil acceso, ya sea por la altura o por la ubicación.
Flujómetro	Dispositivo que sirve para medir el caudal de algún fluido con alta precisión.
GPS	<i>Global Positioning System</i> , sistema global de navegación por satélite que permite fijar a escala mundial la posición de un objeto.
Granulometría	Es la medida de las dimensiones de los agregados, gruesos y finos. Se hace con la acción de hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices.
Revenimiento	La prueba de revenimiento muestra la fluidez del concreto a través de su consistencia. Disminución de la altura de una muestra de concreto fresco, debido a la gravedad, al ser sacada de un molde estándar llamado Cono de Abrams.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación, tiene como principal objetivo, definir los cambios necesarios en los procedimientos, uso de materiales y tecnología que permitan optimizar el uso del cemento en la fabricación de concreto premezclado en Guatemala, lo cual permitirá generar ahorros significativos en el costo de producción, y a la vez reduzcan el impacto ambiental que la producción de cemento genera.

En el primer capítulo se hace una introducción a la historia de la industria concretera en Guatemala, sus orígenes y se incluye una amplia descripción de las características de desempeño del concreto premezclado.

En los siguientes dos capítulos se hace un diagnóstico situacional de la forma en que opera la concretera en estudio, para luego poder hacer una propuesta inicial que al implementarla, permita definir la factibilidad del proyecto.

En el último capítulo se hace un análisis de los resultados preliminares de las pruebas y cambios a los procesos previamente implementados y se define el alcance y el impacto potencial a largo plazo.

Adicional se incluye un capítulo que define y propone la implementación de un Plan de Gestión Ambiental para la operación de una planta de dosificación de concreto, con el fin de hacer un aporte a la industria y a las comunidades en donde estas plantas operan.

OBJETIVOS

General

Reducir el consumo de cemento en concretos premezclados para el incremento en la rentabilidad de esta industria y la reducción del impacto ambiental que este genera.

Específicos

1. Explicar los procesos generales de fabricación de concreto y de cemento.
2. Determinar los factores de mayor impacto para la optimización de cemento en los diseños de concreto.
3. Proponer un modelo de operación para controlar el uso del cemento en los concretos premezclados.
4. Definir un modelo de mejora continua para el proceso propuesto.
5. Explicar el impacto que la fabricación del cemento genera al medio ambiente.
6. Realizar un análisis financiero del impacto que tendrá la implementación del trabajo de graduación.

7. Realizar un Plan de Gestión Ambiental orientado a mitigar los impactos negativos generados en la operación de concreto premezclado.

INTRODUCCIÓN

El componente más importante en materia de costos y de impacto al medio ambiente, es el cemento, por lo que este material será el principal objeto de estudio para el presente trabajo de graduación.

La industria del cemento tiene un impacto ambiental negativo importante para la salud, en función de su localización con relación a centros poblados. Adicional al impacto negativo en materia de salud, la industria del cemento en todo su proceso, desde el manejo y almacenamiento de materiales, hasta el proceso de distribución del producto terminado, impacta negativamente al medio ambiente.

La fabricación de cemento supone polucionar en forma de emisiones de dióxido de carbono (CO₂); las cementeras producen el 5% de las emisiones globales de dióxido de carbono, la causa principal del calentamiento global. Entre las opciones que se tienen para poder minimizar el impacto que esta industria tiene, se ha encontrado en la optimización de los procesos de producción de concreto, un excelente aliado para la consecución de este objetivo.

En materia de costos de fabricación de concreto, el cemento constituye el 47% del costo unitario de producción, dicho esto es fácil entender que cualquier reducción de este material por mínima que parezca, es una reducción nada despreciable que podría significar un ahorro de más de 8.5 millones de quetzales anuales para la industria concretera en Guatemala.

Por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo de graduación cobra importancia al poder darle un nuevo auge a la industria más golpeada por la última crisis financiera mundial, ya que el sector construcción ha marcado un déficit a partir del 2007, de la cual aún no se ha podido recuperar según las estadísticas de los últimos diez años presentadas por la Cámara Guatemalteca de la Construcción.

1. ANTECEDENTES GENERALES

Para poder entender y desarrollar una estrategia de reducción de costos y minimizar el impacto ambiental que la industria concretera genera en Guatemala, es necesario conocer acerca de la historia de la industria a nivel local, es por ello que a continuación se presenta una breve introducción al respecto.

1.1. Empresa Mixto Listo

Mixto Listo es una empresa de capital privado, perteneciente al Grupo Progreso, el cual es un conglomerado de empresas dedicadas a ofrecer soluciones integrales a la industria de la construcción en Guatemala, desde la fase de obra gris, hasta la fase de acabados de la misma.

Como parte de la propuesta de valor de Grupo Progreso, la Empresa Mixto Listo opera como la unidad de negocio dedicada a la fabricación, distribución y colocación de concreto premezclado para la industria de la construcción a nivel nacional.

Un dato importante que permite dimensionar la posición de Mixto Listo en el mercado del concreto premezclado en Guatemala, es el hecho que más del 95% de los proyectos de más de tres niveles en la región metropolitana, fueron o son realizados con concreto suministrado por Mixto Listo, con lo que se demuestra el dominio casi total del mercado.

1.1.1. Reseña histórica

Mixto Listo inició sus operaciones en noviembre de 1954, con una primera planta de producción de concreto, ubicada en finca La Pedrera, zona 6 de la capital.

En 1958, la fuerte demanda obliga su expansión, lo que lleva a la empresa a instalar una segunda planta de dosificación de concreto, la cual se ubica en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

En 1963 la flota de transporte del concreto se duplicó y su presencia empezó a notarse. Se compró equipo de bombeo adecuado para fundir a mayor altura. La compra de dicho equipo fue importante para el desarrollo de nuevos negocios para la empresa, pero más aún, fue importante para el desarrollo de la ciudad de Guatemala, ya que marcó un paso firme hacia la modernidad y urbanidad de la capital guatemalteca.

En 1965 se instala la tercera planta de producción de concreto premezclado en Escuintla, con lo cual la empresa incursiona en un mercado distinto al metropolitano, atendiendo al creciente mercado industrial de la región, dando así, un nuevo aporte para impulsar proyectos de desarrollo e interés nacional.

En 1994 se construyeron dos silos de cemento, para almacenar entre 7 000 y 10 000 sacos para las plantas Norte y Sur, hecho que aumentó notablemente la capacidad instalada para producción de concreto, permitiendo atender al mercado de manera flexible y rápida.

Debido a una demanda creciente en sector de la construcción, se ha ubicado estratégicamente, 16 plantas, su mayoría en el área metropolitana de Guatemala.

Mixto Listo cuenta actualmente con más de 300 colaboradores, más de 130 vehículos, alrededor de 35 equipos de bombeo de alta tecnología, suministrando las mejores soluciones en fundición, a un precio justo y rentable, cumpliendo las especificaciones, excediendo las expectativas del cliente e innovando constantemente.

1.1.2. Ubicación

Debido al alto número de proyectos constructivos que se ejecutan en la ciudad de Guatemala, la operación de Mixto Listo se concentra principalmente en esta ciudad, teniendo instaladas para la atención de esta región un total de cuatro plantas.

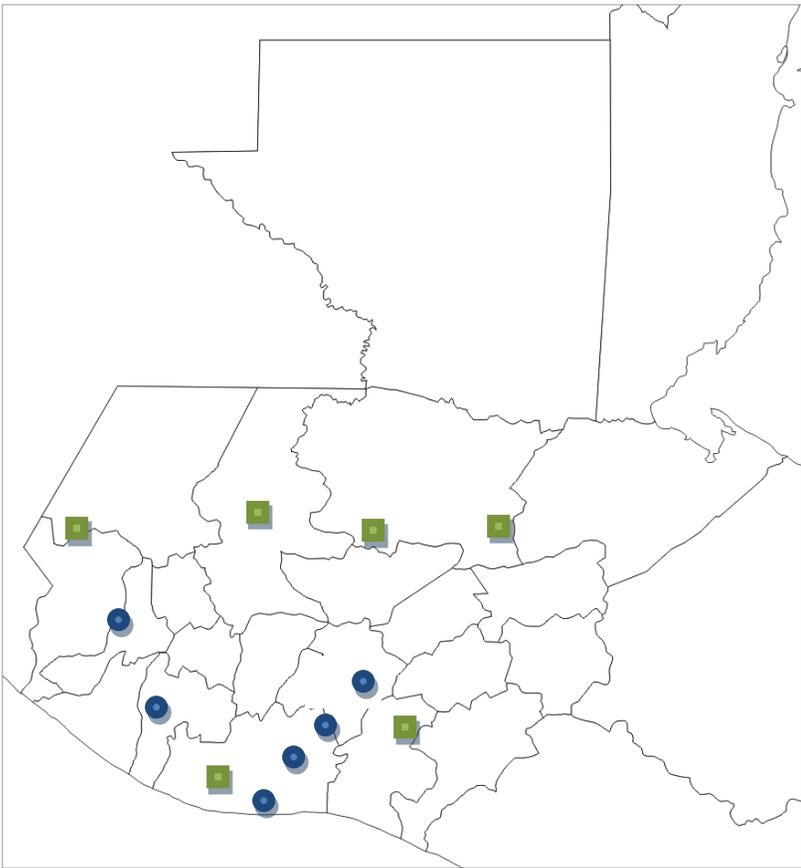
Otro foco importante de desarrollo a nivel nacional es la costa sur, debido a que en esta región se encuentran grandes proyectos habitacionales e industriales, para la atención de esta región se disponen de tres plantas dosificadoras de concreto, una en Amatitlán, otra en Escuintla y la tercera en Puerto Quetzal.

Para atender el mercado del suroccidente, se cuenta con una planta en la ciudad de Quetzaltenango y otra en Mazatenango.

Debido al bajo potencial de las regiones norte y oriente del país, Mixto Listo no cuenta con plantas instaladas en esas regiones. Para atender proyectos puntuales en departamentos de estas regiones, la empresa cuenta

con una flota especial de camiones que tienen capacidad para producir, mezclar y distribuir el concreto, por lo que cualquier proyecto de gran envergadura puede ser atendido en cualquier parte de la república.

Figura 1. **Ubicación de las plantas dosificadoras de concreto de Mixto Listo en el territorio de Guatemala**



- Plantas dosificadoras de concreto
- Plantas dosificadoras de concreto móviles temporales

Fuente: elaboración propia.

1.1.3. Misión

La misión empresarial es el conjunto de objetivos generales y principios de operación de una organización, que se expresa por medio de una declaración de la misión, con el objetivo de comunicar la misión a todos los miembros de la organización.

La declaración de la misión es una forma muy difundida y efectiva de comunicarles la misión. Su efectividad depende de dos aspectos principales: el método de formulación de la declaración, que no deje fuera ningún aspecto esencial de la misión de la compañía y la síntesis de la declaración a una frase única.

Para el caso de Mixto Listo la misión definida es: "Suministrar las mejores soluciones en fundición a un precio justo y rentable, cumpliendo las especificaciones, excediendo las expectativas del cliente e innovando constantemente"¹

1.1.4. Visión

La visión es el estado futuro que se desea para una organización. Esta visión recoge las aspiraciones de la dirección general. Hacia estas aspiraciones deben ir encaminados los esfuerzos y las acciones de todos los miembros de la organización.

La visión de Mixto Listo es: "Ser la empresa más confiable en soluciones de fundición y la primera alternativa en la industria de la construcción".¹

¹ Manual de inducción Mixto Listo. 2009 p. 10-11

1.1.5. Valores y ética

Mixto Listo cuenta con un Código de Valores, Ética y Conducta, (COVEC), el constituye el principal punto de referencia para el trabajo cotidiano de todos los colaboradores de esta empresa, tanto las estrategias, proyectos y campañas, como la actividad misma de cada día deben de estar acorde con su contenido.

El COVEC aplica para toda persona que desempeña una labor dentro de la organización, desde los miembros de la Junta Directiva hasta quienes ejecutan trabajos operativos.

El COVEC se basa en el cumplimiento de cuatro valores que orientan la conducta de los colaboradores.

El primer valor es el Comportamiento ético, que consiste en el esfuerzo constante por vivir cada día de acuerdo con los más altos valores morales. El criterio para medir ese esfuerzo es el mayor o menor respeto a la dignidad de la persona. Este valor genera un ambiente de trabajo donde los colaboradores se saben dignos y respetados y encuentran por ello un clima propicio para desarrollarse humana y profesionalmente.

El segundo valor es Liderazgo genuino, el cual implica reconocer que todos pueden ser líderes en su entorno y conocerse a sí mismo para poner al servicio de otros y de la organización sus fortalezas para agregar valor y promover el cambio.

El tercer valor es la Solidaridad, la cual significa acudir con prontitud y eficacia, en la medida de sus responsabilidades, para satisfacer las

necesidades humanas de aquellas personas o comunidades con las que se tienen relaciones profesionales, industriales, comerciales o de convivencia.

El cuarto valor es el Compromiso con la sostenibilidad de la empresa, el cual indica que los negocios de la organización son piezas clave en el desarrollo de los países donde operan. En ese sentido, el compromiso con la sostenibilidad significa operar de modo eficiente, rentable y responsable con el entorno humano y natural.

1.1.6. Estructura organizacional

La estructura de la empresa es una estructura lineal, es decir, que predomina en ella la autoridad directa o lineal. Cuenta con un gerente de operaciones, quien es el responsable de toda la operación a nivel nacional.

A la Gerencia le reportan 5 jefaturas de área, las cuales son las responsables por el desempeño de sus respectivos departamentos, reportándole a cada jefatura se encuentra el personal operativo y sus respectivos supervisores.

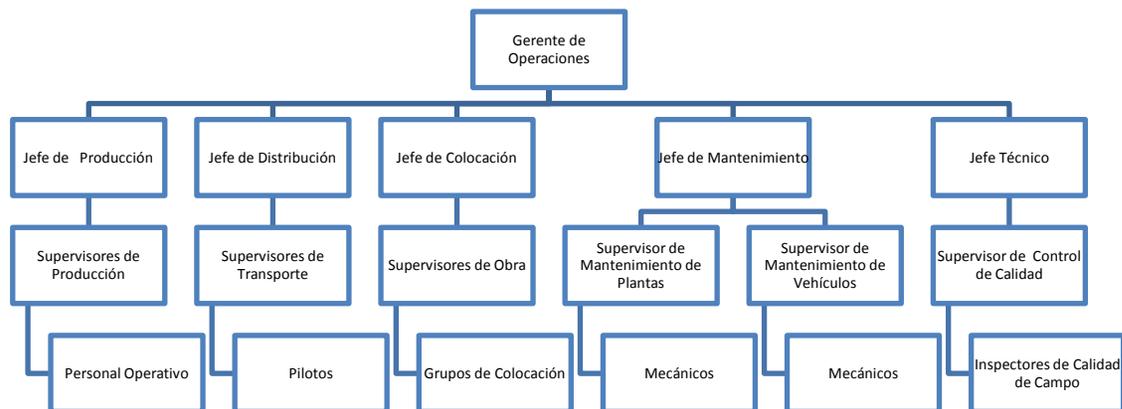
La empresa cuenta con un total de 274 personas en su estructura operativa.

1.1.6.1. Organigrama

Un organigrama es la representación gráfica de la estructura de una empresa o cualquier otra organización. Representa las estructuras departamentales y en algunos casos, las personas que las dirigen, esquematiza las relaciones jerárquicas y competenciales de vigor en la organización. A

continuación se presenta el diagrama de la estructura organizacional de la empresa.

Figura 2. **Estructura organizacional de la empresa**



Fuente: elaboración propia.

1.2. **Historia del concreto**

El concreto, también denominado hormigón en algunos países de Latinoamérica, es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (piedra, grava, arena) y agua. La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero.

El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual

usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de concreto armado, comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas sollicitaciones.

La historia del concreto constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando el hombre optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias atmosféricas. Se idearon diversas soluciones, mezclando agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradasen fácilmente. Así, en el Antiguo Egipto se utilizaron diversas pastas obtenidas con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua.

1.2.1. Concretos de cementos naturales

En la Antigua Grecia, hacia el 500 a. C., se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, dando origen al primer concreto de la historia, usando tobas volcánicas extraídas de la Isla de Santorini. Los antiguos romanos emplearon tierras o cenizas volcánicas, conocidas también como puzolana, que contienen sílice y alúmina, que al combinarse químicamente con la cal daban como resultado el denominado cemento puzolánico (obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio).

Añadiendo en su masa, jarras cerámicas o materiales de baja densidad (piedra pómez), obtuvieron el primer concreto aligerado. Con este material se construyeron desde tuberías a instalaciones portuarias, cuyos restos aún perduran. Destacan construcciones como los diversos arcos del Coliseo romano, los nervios de la bóveda de la Basílica de Majencio, con luces de más

de 25 metros, las bóvedas de las Termas de Caracalla, y la cúpula del Panteón de Agripa, de unos cuarenta y tres metros de diámetro, la de mayor luz durante siglos.

Tras la caída del Imperio Romano el concreto fue poco utilizado, posiblemente debido a la falta de medios técnicos y humanos, la mala calidad de la cocción de la cal, y la carencia o lejanía de tobas volcánicas; no se encuentran muestras de su uso en grandes obras hasta el siglo XIII, en que se vuelve a utilizar en los cimientos de la Catedral de Salisbury, o en la célebre Torre de Londres, en Inglaterra. Durante el renacimiento su empleo fue escaso y muy poco significativo.

Respecto al uso del concreto en las civilizaciones precolombinas, en algunas ciudades y grandes estructuras, construidas por mayas y aztecas en México o las de Machu Pichu en el Perú, se utilizaron materiales cementantes.

En el siglo XVIII se reaviva el afán por la investigación. John Smeaton, un ingeniero de Leeds fue comisionado para construir por tercera vez un faro en el acantilado de Edystone, en la costa Cornwall, empleando piedras unidas con un mortero de cal calcinada para conformar una construcción monolítica que soportara la constante acción de las olas y los húmedos vientos; fue concluido en 1759 y la cimentación aún perdura.

1.2.2. Nacimiento de cemento Portland y el concreto armado

Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el *Portland Cement*, obtenido de caliza arcillosa y carbón calcinados a alta temperatura, denominado así por su color gris verdoso oscuro, muy similar a la piedra de la isla de Portland. Isaac Johnson obtiene en 1845 el prototipo del cemento moderno

elaborado de una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura, hasta la formación del clinker; el proceso de industrialización y la introducción de hornos rotatorios propiciaron su uso para gran variedad de aplicaciones, hacia finales del siglo XIX.

El concreto, por sus características pétreas, soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otros tipos de sollicitaciones (flexión, tracción, torsión, cortante); la inclusión de varillas metálicas que soportaran dichos esfuerzos propició optimizar sus características y su empleo generalizado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura.

La invención del concreto armado se suele atribuir al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para (la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego). El francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860, pero fue François Hennebique quien ideó un sistema convincente de concreto armado, patentado en 1892, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895.

Para el diseño de estructuras de concreto armado Hennebique y sus contemporáneos basaban el diseño de sus patentes en resultados experimentales, mediante pruebas de carga; los primeros aportes teóricos los realizan prestigiosos investigadores alemanes, tales como Wilhem Ritter, quien desarrolla en 1899 la teoría del Reticulado de Ritter-Mörsch.

1.2.3. Auge de la industria del concreto

A principios del siglo XX surge el rápido crecimiento de la industria del cemento, debido a varios factores: los experimentos de los químicos franceses

Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran producir cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular; y los métodos de transportar concreto fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907. Con estos adelantos pudo elaborarse cemento portland en grandes cantidades y utilizarse ventajosamente en la industria de la construcción.

Maillart proyecta en 1901 un puente en arco de 38 metros de luz sobre el río Inn, en Suiza, construido con vigas cajón de concreto armado; entre 1904 y 1906 diseña el puente de Tavanasa, sobre el río Rin, con 51 metros de luz, el mayor de Suiza. Claude A.P. Turner realiza en 1906 el edificio Bovex de Minneapolis (USA), con los primeros pilares fungiformes (de amplios capiteles).

Le Corbusier, en los años 1920, reclama en *Vers une Architecture* una producción lógica, funcional y constructiva, despojada de retóricas del pasado; en su diseño de Casa Domino, de 1914, la estructura está conformada con pilares y forjados de concreto armado, posibilitando fachadas totalmente diáfanas y la libre distribución de los espacios interiores.

Los hangares de Orly, diseñados por Freyssinet entre 1921 y 1923, con 60 metros de luz, 9 de flecha y 300 de longitud, se construyen con láminas parabólicas de concreto armado, eliminando la división funcional entre paredes y techo. En 1929 Frank Lloyd Wright construye el primer rascacielos en concreto.

En la década de 1960 aparece el concreto reforzado con fibras, incorporadas en el momento del amasado, dando al concreto isotropía y aumentando sus cualidades a flexión, tracción, impacto, fisuración, etc. En los años 1970, los aditivos permiten obtener concretos de alta resistencia, de 120 a

más de 200 MPa; la incorporación de monómeros, genera concretos casi inatacables por los agentes químicos o indestructibles por los ciclos hielo-deshielo, aportando múltiples mejoras en diversas propiedades del concreto.

Los grandes progresos en el estudio científico del comportamiento del concreto armado y los avances tecnológicos, posibilitaron la construcción de rascacielos más altos, puentes de mayor luz, amplias cubiertas e inmensas presas. Su empleo será insustituible en edificios públicos que deban albergar multitudes: estadios, teatros, cines, etc. Muchas naciones y ciudades competirán por erigir la edificación de mayor dimensión, o más bella, como símbolo de su progreso que, normalmente, estará construida en concreto armado.

Los edificios más altos del mundo poseen estructuras de concreto y acero, tales como las Torres Petronas, en Kuala Lumpur, Malasia (452 metros, 1998), el edificio Taipei 101 en Taiwán (509 metros, 2004), o el Burj Dubai de la ciudad de Dubái (818 metros, 2009), en el siglo XXI.

1.2.4. Cultura medioambiental

El uso de materiales reciclados como ingredientes del concreto está ganando popularidad debido a la cada vez más severa legislación medioambiental. Los más utilizados son las cenizas volantes, un subproducto de las centrales termoeléctricas alimentadas por carbón. Su impacto es significativo pues posibilitan la reducción de canteras y vertederos, ya que actúan como sustitutos del cemento, y reducen la cantidad necesaria para obtener un buen concreto. Como la producción de cemento genera grandes volúmenes de dióxido de carbono, la tecnología de sustitución del cemento

desempeña un importante papel en los esfuerzos por aminorar las emisiones de dióxido de carbono.

1.2.5. Historia del concreto en Guatemala

En Guatemala el inicio de la industria cementera comienza por una fábrica creada en 1899 por el ingeniero Carlos Novella, equipada con maquinaria alemana de segunda mano, se modernizó en 1917 gracias al acuerdo alcanzado con la *United Fruit*, esto se logró para tener una producción propia de cemento y no depender mucho de las importaciones de Alemania y Estados Unidos. Al ver la buena producción de cemento en la década de 1930, empezaron a surgir más edificaciones de concreto en Guatemala, con la obtención de sus agregados de forma natural.

En 1954, con la apertura de la primera empresa de producción de concreto premezclado, se estableció una industria del concreto y debido a la necesidad de construcción principalmente de vivienda en 1957 surge la fabricación de elementos prefabricados como los blocks, y también el inicio de fabricación de otro tipos de cementos Portland como el cemento para fabricación y pegado de blocks, estructural de mayor capacidad a la compresión etc., en 1970 se empezó la utilización de elementos prefabricados pretensados.

Uno de los más grandes retos que enfrentó esta industria fue el terremoto ocurrido en 1976 por el cual hubo necesidad de mejorar, producir y utilizar diferentes tipos de cementos portland y al llegar la década de 1980, se empezó con la producción de nuevos tipos de cementos también se amplió la producción de concreto premezclado y la mayor utilización de prefabricados. A partir de la década del 90, empieza una gran expansión de la industria con la producción de cemento para diferentes tipos de clima, la producción de

concretos premezclados dependiendo del tipo estructuras, al igual de la implementación de programas ambientales.

Teniendo en cuenta todos los acontecimientos anteriores, la industria al producir cada tipo de cemento y forma de utilizarlo se rigió en normas internacionales como las ASTM para tener una producción y utilización correcta de los mismos. La utilización de normas es de nivel obligatorio por lo que en el 2006 se fundó el Instituto del Cemento y del Concreto en Guatemala (ICCG), que ha implementado y complementado con la aprobación de las normas nacionales COGUANOR y crear un capítulo ACI guatemalteco.

1.3. Características y desempeño del concreto

El concreto es un material durable y resistente pero, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular para exteriores.

Ya sea que adquiera la forma de un camino de entrada amplio hacia una casa moderna, un paso vehicular semicircular frente a una residencia, o una modesta entrada delantera, el concreto proporciona solidez y permanencia a los lugares donde se vive.

Además de cubrir las necesidades diarias en escalones exteriores, entradas y caminos, el concreto también es parte de nuestro tiempo libre, al proporcionar la superficie adecuada para un patio.

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales

eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una revoltura de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- La calidad propia de los agregados, incluyendo los agregados finos y gruesos.

- La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la matriz cementante.

En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

Finalmente, la compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la matriz cementante con los agregados, depende de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de estos.

De la esmerada atención a estos tres aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del concreto, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio. Pero esto, que sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

1.3.1. Características estructurales

La principal característica estructural del concreto es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las sollicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas.

Para superar este inconveniente, se arma el concreto introduciendo barras de acero, conocido como concreto armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero. Es usual, además, disponer barras de acero reforzando zonas o elementos fundamentalmente comprimidos, como es el caso de los pilares. Los intentos de compensar las deficiencias del concreto a tracción y cortante originaron el desarrollo de una nueva técnica constructiva a principios del siglo XX, la del concreto armado.

Posteriormente se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa al fraguado del concreto de la pieza estructural, desarrollándose las técnicas del concreto pretensado y el concreto postensado.

Así, introduciendo antes del fraguado alambres de alta resistencia tensados en el concreto, este queda comprimido al fraguar, con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas, se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, resultando muy ventajoso en muchos casos. Para el pretensado se utilizan aceros de muy alto límite elástico, dado que el fenómeno denominado fluencia lenta anularía las ventajas del pretensado.

Los aditivos permiten obtener concretos de alta resistencia; la inclusión de monómeros y adiciones para concreto aportan múltiples mejoras en las propiedades del concreto.

Cuando se proyecta un elemento de concreto armado se establecen las dimensiones, el tipo de concreto, la cantidad, calidad, aditivos, adiciones y disposición del acero que hay que aportar en función los esfuerzos que deberá resistir cada elemento.

Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del concreto un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento. Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones.

1.3.2. Características físicas

Las principales características físicas del concreto, en valores aproximados, son:

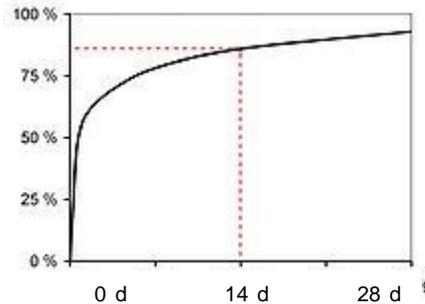
- Densidad: en torno a 2 350 kg/m³, con agregados convencionales sin especificación de densidad específica de los mismos.
- Resistencia a compresión: de 150 a 500 kg/cm² (15 a 50 MPa) para el concreto ordinario. Existen concretos especiales de alta resistencia que alcanzan hasta 2 000 kg/cm² (200 MPa).

- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros. De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana $3/4$ partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.
- Dado que el concreto se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el concreto protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

La pasta del concreto se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua.

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del concreto. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provoca el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

Figura 3. **Diagrama indicativo de la resistencia (en porcentaje) que adquiere el concreto a los 14, 28, 42 y 56 días**



Fuente: KOSMATKA, Steven H; PARANESE, William C. PCA: Diseño y control de mezclas de concreto. p. 5.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo.

En el cemento Portland, el más frecuente empleado en los concretos, el primer componente en reaccionar, es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días). Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los huecos en los encofrados.

En condiciones normales un concreto portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 o 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza. En el cuadro siguiente se observa la evolución de la resistencia a compresión de un concreto tomando como unidad la resistencia a 28 días, siendo cifras orientativas

Tabla I. **Evolución de la resistencia a compresión de un concreto con cemento tipo Portland normal**

Edad del concreto en días	3	7	28	90	360
Resistencia a compresión	40%	65%	100%	120%	135%

Fuente: Departamento de Control de Calidad Mixto Listo.

1.3.3. Fraguado

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla.

Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo

estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa. El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento enunciados y alcanza un valor de 45 a 60 minutos, el tiempo de fraguado final se estima en 10 horas aproximadamente. En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido.

El fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de retardantes del fraguado, compuestos de yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, el fraguado puede acelerarse con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio.

1.3.4. Efectos en el concreto fresco

El concreto como material en estado fresco, se convierte en uno de los materiales para la construcción más complejos de manejar, debido al poco tiempo de vida y a los cambios acelerados en sus características y desempeño. A continuación se describen las principales características y efectos que sufre este material en su estado fresco.

1.3.4.1. Cohesión y trabajabilidad

La cohesión y manejabilidad de las mezclas de concreto son características que contribuyen a evitar la segregación y facilitar el manejo previo y durante su colocación en las cimbras. Consecuentemente, son aspectos del comportamiento del concreto fresco que adquieren relevancia en obras donde se requiere manipular extraordinariamente el concreto, o donde las condiciones de colocación son difíciles y hacen necesario el uso de bomba o el vaciado por gravedad.

Prácticamente, la finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto, por tanto, los cementos de mayor finura como el portland tipo III o los portland-puzolana serían recomendables en este aspecto. Sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas de concreto segreguen durante su manejo y colocación. Entre tales factores puede mencionarse la composición granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cementante, los aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

1.3.4.2. Revenimiento

Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia, o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura. Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de concreto conservara su consistencia (o revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que

destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

Para unas condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de revenimiento también puede resultar influida por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de esta, la humedad de los agregados, el uso de ciertos aditivos y las características y contenido unitario del cemento. La eventual contribución de estos factores intrínsecos, en el sentido de incrementar la pérdida normal de revenimiento del concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado, es como se indica:

- Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez, debido a la evaporación del exceso de agua que contienen.
- El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.
- El uso de algunos aditivos reductores de agua y superfluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.
- El empleo de cementos Portland-puzolana cuyo componente puzolánico es de naturaleza porosa y se muele muy finamente, puede acelerar notablemente la pérdida de revenimiento del concreto recién mezclado al producirse un resecamiento prematuro provocado por la avidéz de agua de la puzolana.

En relación con esos dos últimos factores, lo conveniente es verificar oportunamente que exista compatibilidad entre el aditivo y el cemento de uso previsto y, en el caso del cemento Portland-puzolana, realizar pruebas comparativas de pérdida de revenimiento con un cemento portland simple de uso alternativo.

1.3.4.3. Asentamiento y exudación

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden intrínseco, y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas, características deficientes de forma, textura superficial y granulometría en los agregados (particularmente falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante. Consecuentemente, las medidas aplicables para moderar el asentamiento y el sangrado consisten en inhibir la presencia de dichos factores, para lo cual es pertinente:

- Emplear mezclas de concreto con la consistencia menos fluida que pueda colocarse satisfactoriamente en la estructura, y que posea el

menor contenido unitario de agua que sea posible, inclusive utilizando aditivos reductores de agua si es necesario.

- Utilizar agregados con buena forma y textura superficial y con adecuada composición granulométrica; en especial, con un contenido de finos en la arena que cumpla especificaciones en la materia.
- Ensayar el uso de un aditivo inclusor de aire, particularmente cuando no sea factible cumplir con la medida anterior.
- Incrementar el consumo unitario de cemento y/o utilizar un cemento de mayor finura, como el Portland tipo III o los Portland-puzolana. En relación con esta última medida, es un hecho bien conocido la manera como se reduce la velocidad de sangrado de la pasta al aumentar la superficie específica del cemento.

Sin embargo, existe el efecto opuesto ya mencionado en el sentido de que un aumento de finura en el cemento tiende a incrementar el requerimiento de agua de mezclado en el concreto. Por tal motivo, es preferible aplicar esta medida limitadamente seleccionando el cemento apropiado por otras razones más imperiosas y, si se presenta problema de sangrado en el concreto, tratar de corregirlo por los otros medios señalados, dejando el cambio de cemento por otro más fino como última posibilidad.

Para fines constructivos se considera que el tiempo medido desde que se mezcla el concreto hasta que adquiere el fraguado inicial, es el lapso disponible para realizar todas las operaciones inherentes al colado hasta dejar el concreto colocado y compactado dentro del espacio cimbrado. De esta manera, este lapso previo al fraguado inicial adquiere importancia práctica pues debe ser

suficientemente amplio para permitir la ejecución de esas operaciones en las condiciones del trabajo en obra, pero no tan amplio como para que el concreto ya colocado permanezca demasiado tiempo sin fraguar, ya que esto acarrearía dificultades de orden técnico y económico.

1.3.4.4. Resistencia del concreto

Conforme se expuso previamente, la velocidad de hidratación y adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento portland depende básicamente de la composición química del clinker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico (C3S) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia rápida. En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico (C2S) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV.

En cuanto a los cementos Portland-puzolana, su adquisición inicial de resistencia suele ser un tanto lenta debido a que las puzolanas no aportan prácticamente resistencia a edad temprana. Por otra parte, resulta difícil predecir la evolución de resistencia de estos cementos porque hay varios factores que influyen y no siempre se conocen, como son el tipo de clinker con que se elaboran y la naturaleza, calidad y proporción de su componente puzolánico.

De acuerdo con las tendencias mostradas puede considerarse que, para obtener el beneficio adecuado de resistencia de cada tipo y clase de cemento en función de sus características, lo conveniente es especificar la resistencia de

proyección del concreto a edades que sean congruentes con dichas características. Consecuentemente, estas edades pueden ser como sigue:

- Portland III 14 o 28 días
- Portland I, II y V 28 o 90 días
- Portland-puzolana 90 días, o más

En ausencia de cemento tipo III, cuya disponibilidad en el mercado guatemalteco es limitada, puede emplearse cemento tipo I junto con un aditivo acelerante, previa verificación de su compatibilidad y efectos en el concreto, tanto en lo que se refiere a su adquisición de resistencia como a la durabilidad potencial de la estructura.

1.3.5. Durabilidad del concreto

El concreto de cemento portland es susceptible de sufrir daños en distinto grado al prestar servicio en contacto con diversas sustancias químicas de carácter ácido o alcalino.

En cuanto a la selección del cemento apropiado, se sabe que el aluminato tricálcico (C3A) es el compuesto del cemento portland que puede reaccionar con los sulfatos externos para dar Bulfoaluminato de calcio hidratado cuya formación gradual se acompaña de expansiones que desintegran paulatinamente el concreto.

1.4. Tipos de concreto

En la Instrucción Española, publicada en 1998, los concretos están tipificados según la siguiente tabla, siendo obligatorio referirse de esta forma en

los planos y demás documentos de proyecto, así como en la fabricación y puesta en obra.

Tabla II. **Tipos de concreto**

Concreto armado	Es el concreto que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas. Este concreto es apto para resistir esfuerzos de compresión y tracción. Los esfuerzos de tracción los resisten las armaduras de acero. Es el concreto más habitual.
Concreto pretensado	Es el concreto que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el concreto fresco.
Mortero	Es una mezcla de cemento, agua y arena (árido fino), es decir, un concreto normal sin árido grueso.
Concreto ciclópeo	Es el concreto que tiene embebidos en su interior grandes piedras de dimensión no inferior a 30 cm.
Concreto sin finos	Es aquel que sólo tiene árido grueso, es decir, no tiene arena (árido menor de 5 mm).
Concreto aireado	Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un concreto de baja densidad.
Concreto de alta densidad	Fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita o hematita) El concreto pesado se utiliza para blindar estructuras y proteger frente a la radiación.

Fuente: Departamento de Control de Calidad Mixto Listo.

1.5. Componentes del concreto

En términos generales, el concreto fresco es una mezcla semilíquida de aditivos químicos, cemento, agua, piedra triturada y arena, que mediante un

proceso llamado hidratación, las partículas del cemento reaccionan químicamente con el agua y el concreto se endurece y se convierte en un material durable. Cuando se mezcla, se hace el vaciado y se cura de manera apropiada, el concreto forma estructuras sólidas capaces de soportar las temperaturas extremas del invierno y del verano.

Además de los ingredientes de la mezcla de concreto en sí misma, será necesario un marco o cimbra y un refuerzo de acero para construir estructuras sólidas. La cimbra generalmente se construye de madera y puede hacerse con ella desde un sencillo cuadrado hasta formas más complejas.

Figura 4. **Componentes del concreto**



Fuente: KOSMATKA, Steven H; PARANESE, William C. PCA: Diseño y control de mezclas de concreto. p. 1.

1.5.1. Cemento

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aun estando inmersos en ella, característica que los distingue de los

cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire y demás condiciones ambientales.

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí.

Al referirse específicamente al concreto convencional, como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, por lo cual solo procede considerar los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones.

1.5.1.1. Tipos de cemento

Existen cuatro tipos de cemento portland, cada uno con características físicas y químicas diferentes.

El primer tipo son los cementos portland simples, mezclados y expansivos. Para la elaboración del clinker portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de fierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada.

Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1 400 °C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm, cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker portland.

Una vez frío, el clinker se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento portland simple. Además durante, la molienda, el clinker puede combinarse con una escoria o un material puzolánico para producir un cemento mezclado portland-escoria o portland-puzolana, o bien puede molerse con determinados materiales de carácter sulfo-calcio-aluminoso para obtener los llamados cementos expansivos.

El segundo tipo de cemento es el cemento blanco. El clinker portland para este cemento se produce seleccionando materias primas con muy bajas proporciones, e incluso nulas, de hierro y manganeso. De acuerdo con su composición química puede ser clasificado como portland tipo I o tipo III. Se le destina principalmente a trabajos arquitectónicos y decorativos, en donde no se requieren grandes consumos de cemento, ya que su precio es relativamente alto.

El tercer tipo de cemento es el cemento para pozos petroleros. Para las lechadas, morteros y concretos que se emplean en los trabajos de perforación y mantenimiento de pozos petroleros y geotérmicos, deben utilizarse cementantes cuyos tiempos de fraguado sean adecuados a las condiciones de

colocación ya las elevadas temperaturas y presiones que en el sitio existan. Con esta finalidad, se reglamentan seis diferentes clases de cemento, aplicables de acuerdo con la profundidad de colocación en el pozo. A falta de este cemento, en condiciones poco severas puede suplirse con un cemento portland tipo II de producción normal, junto con aditivos reguladores del fraguado añadidos en obra.

En condiciones muy rigurosas de presión y temperatura, puede ser necesario emplear cementos distintos al portland como los que eventualmente se elaboran en EUA, mediante una mezcla de silicato dicálcico y sílice finamente molida.

El cuarto tipo de cemento es el cemento de mampostería, este se emplea en la elaboración de morteros para aplanados, junto de bloques y otros trabajos similares, por cuyo motivo también se le denomina cemento de albañilería. Dos características importantes de este cemento son su plasticidad y su capacidad para retener el agua de mezclado. Tomando en cuenta que sus requisitos de resistencia son comparativamente menores que los del portland, esas características suelen fomentarse con el uso de materiales inertes tales como caliza y arcilla, que pueden molerse conjuntamente con el clinker o molerse por separado y mezclarse con el cemento portland ya elaborado.

1.5.1.2. Controles de calidad en el cemento

La mayor parte de especificaciones para el cemento Portland limitan su composición química y sus propiedades físicas. La comprensión del significado de algunas de estas propiedades físicas es útil para interpretar los resultados de las pruebas que se efectúan al cemento. En general, las pruebas de las propiedades físicas del cemento deben ser utilizadas exclusivamente para

evaluar las propiedades del cemento más que para el concreto. Las principales pruebas se listan a continuación.

- **Finura:** la finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. La finura se mide por medio del ensayo del turbidímetro de Wagner (ASTM C 115), el ensayo Blaine de permeabilidad al aire (ASTM C 204), o con la malla No.325 (45 mieras) (ASTM C 430). Aproximadamente del 85% al 95% de las partículas de cemento son menores de 45 micras.
- **Inalterabilidad:** se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad es provocada por un exceso en las cantidades de cal libre o de magnesia. Casi todas las especificaciones para el cemento portland limitan los contenidos de magnesia, así como la expansión registrada en la prueba de autoclave. Desde que en 1943 se adoptó la prueba de expansión en autoclave (ASTM C 151), prácticamente no han ocurrido casos de expansión anormal que puedan atribuirse a falta de sanidad.
- **Consistencia:** la consistencia se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de fluir. Durante el ensayo de cemento, se mezclan pastas de consistencia normal, misma que se define por una penetración de 10 ± 1 mm de la aguja de Vicat, mientras se mezclan morteros para obtener ya sea una relación agua-cemento fija o para producir una cierta fluidez dentro de un

rango dado. La fluidez se determina en una mesa de fluidez tal como se describe en la norma ASTM C 230.

- Tiempo de fraguado: para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma ASTM C 150, se efectúan pruebas usando el aparato de Vicat (ASTM C 191) o la aguja de Gillmore. El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto; el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento.
- Falso fraguado: el falso fraguado (Norma ASTM C 451 para el método de la pasta y norma ASTM C 359 para el método del mortero), se comprueba por una considerable pérdida de plasticidad sin que se desarrolle calor en gran abundancia poco tiempo después del mezclado. Desde el punto de vista de la colocación y del manejo, las tendencias del cemento portland a provocar fraguado falso no causarán dificultades si el concreto se mezcla un mayor tiempo de lo normal o si es remezclado sin agregarle agua antes de ser transportado y colado.
- Resistencia a la compresión: la resistencia a la compresión, tal como lo especifica la norma ASTM C 150, es la obtenida a partir de pruebas en cubos de mortero estándar de 5 cm, ensayados de acuerdo a la norma ASTM C 109. Estos cubos se hacen y se curan de manera prescrita y utilizando una arena estándar.

1.5.2. Agua

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones, la primera como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es el de su uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente, cuando el concreto se cura con agua. Aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear igual de una sola calidad en ambos casos.

En las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

En determinados casos se requiere, con objeto de disminuir la temperatura del concreto al ser elaborado, que una parte del agua de mezclado se administre en forma de hielo molido o en escamas. En tales casos, el agua que se utilice para fabricar el hielo debe satisfacer las mismas especificaciones de calidad del agua de mezclado.

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del

concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

Una práctica bastante común consiste en utilizar el agua potable para fabricar concreto sin ninguna verificación previa, suponiendo que toda agua que es potable también es apropiada para elaborar concreto; sin embargo, hay ocasiones en que esta presunción no se cumple, porque hay aguas potables aderezadas con citratos o con pequeñas cantidades de azúcares, que no afectan su potabilidad pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación de concreto. En todo caso, la consideración contraria pudiera ser más conveniente, es decir, que el agua para la elaboración del concreto no necesariamente requiere ser potable, aunque sí debe satisfacer determinados requisitos mínimos de calidad.

En diversas especificaciones y prácticas recomendadas, al establecer la calidad necesaria en el agua de mezclado, se pone más énfasis en la valuación de los efectos que produce en el concreto, que en la cuantificación de las sustancias indeseables e impurezas que contiene. Esto aparentemente se justifica porque tales reglamentaciones están dirigidas principalmente a construcciones urbanas, industriales o similares, cuyo concreto se produce en localidades donde normalmente se dispone de suministro de agua para uso industrial o doméstico.

No siempre ocurre así durante la construcción de las centrales eléctricas, particularmente de las hidroeléctricas, en donde es necesario acudir a fuentes de suministro de agua cuya calidad es desconocida y con frecuencia muestra señales de contaminación. En tal caso, es prudente determinar en primer término las características físico-químicas del agua y, si estas son adecuadas, proceder a verificar sus efectos en el concreto.

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuada puede producir en el concreto, son a corto, mediano y largo plazo. Los efectos a corto plazo normalmente se relacionan con el tiempo de fraguado y las resistencias iniciales, los de mediano plazo con las resistencias posteriores (a 28 días o más) y los de largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos, la reacción álcali-agregado y la corrosión del acero de refuerzo. La prevención de los efectos a largo plazo se consigue por medio del análisis químico del agua antes de emplearla, verificando que no contenga cantidades excedidas de sulfatos, álcalis, cloruros y dióxido de carbono disuelto, principalmente.

Para prevenir los efectos a corto y mediano plazo, se acostumbra precalificar el agua mediante pruebas comparativas de tiempo de fraguado y de resistencia a compresión a 7 y 28 días. En estas pruebas se comparan especímenes elaborados con mezclas idénticas, en las que sólo cambia la procedencia del agua de mezclado: agua destilada en la mezcla-testigo y el agua en estudio en la mezcla de prueba.

1.5.2.1. Controles de calidad en el agua

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características fisico-químicas ya sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

Refiriéndose a las características fisico-químicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es relativamente frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros,

sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etc. Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos, por ejemplo. La presencia de alguna de estas sustancias, que por lo demás no es común, debe tomarse como un síntoma de contaminación que requiere eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplear el agua.

Cuando el agua de uso previsto es potable, cabe suponer en principio que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto, excepto por la posibilidad de que contenga alguna sustancia saborizante, lo cual puede detectarse fácilmente al probarla.

La verificación de la calidad del agua de uso previsto para elaborar el concreto, debe ser una práctica obligatoria antes de iniciar la construcción de obras importantes, como es el caso de las centrales para generar energía eléctrica. Sin embargo, puede permitirse que esta verificación se omita en las siguientes condiciones:

- El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y no se le aprecia olor, color ni sabor; no obstante que no posea antecedentes de uso en la fabricación de concreto.
- El agua procede de cualquier otra fuente de suministro que cuenta con antecedentes de uso en la fabricación de concreto con buenos resultados y no se le aprecia olor, color ni sabor.

Por el contrario, la verificación de calidad del agua, previa a su empleo en la fabricación de concreto, debe ser un requisito ineludible en los siguientes casos:

- El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y, aunque posee antecedentes de U80 en la fabricación de concreto, se le aprecia cierto olor, color o sabor.
- El agua procede de cualquier fuente de suministro sin antecedentes de uso en la fabricación de concreto, aunque no manifieste olor, color ni sabor.

Cuando la obra se localiza en las inmediaciones de un centro de población, es muy probable que exista abastecimiento de agua en la localidad, del cual pueda disponerse para fabricar el concreto. Al referirse a esta red de suministro público, es pertinente distinguir entre el agua para uso doméstico y para uso industrial. La primera por lo general reúne condiciones fisico-químicas de potabilidad, salvo eventuales fallas en el aspecto bacteriológico que pueden hacerla impropia para el consumo humano, pero no afectan al concreto. El agua para uso industrial por lo común no es potable, no sólo en el aspecto bacteriológico sino también en el aspecto fisico-químico.

Hay otras fuentes de suministro de agua para elaborar el concreto en sitios alejados de los centros de población, como son los pozos, manantiales corrientes superficiales (arroyos y ríos), almacenamientos naturales (lagos lagunas) y almacenamientos creados artificialmente (vasos de presas). Salvo que existan antecedentes de uso del agua en la fabricación de concreto con buenos resultados, debe verificarse invariablemente su calidad antes de emplearla.

En cuanto al agua de mar, su principal inconveniente al ser juzgada como agua de mezclado para concreto, consiste en su elevado contenido de cloruros (más de 20 000 ppm) que la convierten en un medio altamente corrosivo para el acero de refuerzo, y esto la hace inaceptable para su empleo en el concreto reforzado. No obstante, en determinados casos se ha llegado a emplear agua de mar para la elaboración de concreto destinado a elementos no reforzados. Un ejemplo local de ello lo constituyen las escolleras de algunas centrales termoeléctricas situadas a la orilla del mar, construidas mediante el apilamiento de grandes bolsas de plástico rellenas in situ con un mortero fluido bombeable, hecho a base de arena, cemento portland tipo V.

En la construcción de centrales eléctricas, y en especial hidroeléctricas, es bastante común disponer del agua procedente de corrientes fluviales que pueden contener sustancias contaminantes de diversa índole. La manera recomendable de proceder en estos casos, consiste en obtener muestras del agua con suficiente anticipación al inicio de las obras, con objeto de verificar sus características físico-químicas y sus efectos en el concreto. Estas muestras deben colectarse en diversas épocas del año, para abarcar todas las posibles condiciones de suministro, y del resultado de su verificación debe poder concluirse si el agua es aceptable en su estado original, o si requiere ser sometida a algún tratamiento previo de sedimentación, filtración, etc.

1.5.3. Agregados

Los áridos deben poseer por lo menos la misma resistencia y durabilidad que se exija al concreto. No se deben emplear calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables o porosas. Para la durabilidad en medios agresivos serán mejores los áridos silíceos, los procedentes de la trituración de rocas volcánicas o los de calizas sanas y densas.

El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena. No es posible hacer un buen concreto sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad.

Con áridos naturales rodados, los concretos son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los áridos de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias. Los áridos machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuesta más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia.

Si los áridos rodados están contaminados o mezclados con arcilla, es imprescindible lavarlos para eliminar la camisa que envuelve los granos y que disminuiría su adherencia a la pasta de concreto. De igual manera los áridos de machaqueo suelen estar rodeados de polvo de machaqueo que supone un incremento de finos al concreto, precisa más agua de amasado y darán menores resistencias por lo que suelen lavarse.

Los áridos que se emplean en concretos se obtienen mezclando tres o cuatro grupos de distintos tamaños para alcanzar una granulometría óptima.

Tres factores intervienen en una granulometría adecuada: el tamaño máximo del árido, la compactación y el contenido de granos finos. Cuando mayor sea el tamaño máximo del árido, menores serán las necesidades de cemento y de agua, pero el tamaño máximo viene limitado por las dimensiones mínimas del elemento a construir o por la separación entre armaduras, ya que esos huecos deben quedar rellenos por el concreto y por tanto, por los áridos de mayor tamaño.

En una mezcla de áridos una compacidad elevada es aquella que deja pocos huecos; se consigue con mezclas pobres en arenas y gran proporción de áridos gruesos, precisando poca agua de amasado; su gran dificultad es conseguir compactar el concreto, pero si se dispone de medios suficientes para ello el resultado son concretos muy resistentes. En cuanto al contenido de granos finos, estos hacen la mezcla más trabajable pero precisan más agua de amasado y de cemento.

1.5.3.1. Agregados gruesos (grava)

El agregado grueso consiste en gravas o en pedrín proveniente de los cantos rodados naturalmente o triturado desde una cantera. Teniendo en cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia. En Guatemala se considera como agregado grueso, grava o pedrín, al compuesto por partículas mayores a 5 mm (que quedan retenidas en el tamiz N.4).

1.5.3.2. Agregados finos (arenas)

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas. En Guatemala se considera agregado fino, la arena de partículas muy pequeñas que pasan por una malla de abertura de 5 milímetros.

1.5.3.3. Controles de calidad en los agregados

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 33 (el uso de la norma está sujeto de acuerdo al país en el cual se aplique la misma ya que las especificaciones de cada una de estas varían de acuerdo con la región o país). Los porcentajes de sustancias dañinas en cada fracción del agregado grueso, en el momento de la descarga en la planta de concreto, no deberán superar los siguientes límites:

Tabla III. **Porcentaje permisible de sustancias dañinas en fracciones del agregado grueso**

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	(ASTM C 117)	máx. 0.5
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	máx. 1
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	máx. 0.5
Otras sustancias dañinas	-	máx. 1
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na ₂ SO ₄)	máx. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM C 131 y C 535	máx. 40

Fuente: KOSMATKA, Steven H; PARANESE, William C. PCA: Diseño y control de mezclas de concreto. p. 111.

El agregado grueso debe estar bien gradado entre los límites fino y grueso y debe llegar a la planta de concreto separado en tamaños normales cuyas granulometrías se indican en la tabla IV.

Tabla IV. **Granulometría del agregado grueso**

Tamiz Standard	Dimensión de la malla (mm)	Mm	Porcentaje en peso que pasa por los tamices	Mm
-	-	19 mm	38	51
2"	50	-	100	100
1½"	38	-	95-100	95-100
1"	25	100	-	35-70
¾"	19	90-100	35-70	-
½"	13	-	-	10-30
3/8"	10	20-55	10-30	-
Nº 4	4,8	0-10	0-5	0-5
Nº 8	2,4	0-5	-	-

Fuente: KOSMATKA, Steven H.; PARANESE William C. PCA: Diseño y control de mezclas de concreto. p. 112.

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

El máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas no deberá exceder de los valores siguientes, expresados en porcentaje del peso.

Tabla V. **Máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas máximas permisibles**

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz nº 200	(ASTM C 117)	3%
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	1%
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	1%

Fuente: KOSMATKA, Steven H; PARANESE, William C. PCA: Diseño y control de mezclas de concreto. p. 113.

El agregado fino deberá tener la granulometría siguiente:

Tabla VI. **Granulometría del agregado fino**

Tamiz Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que pasa
N° 3/8"	9,52	100
N° 4	4,75	95 – 100
N° 8	2,36	80 – 100
N° 16	1,18	50 – 85
N° 30	0,60	25 – 60
N° 50	0,30	10 – 30

Fuente: KOSMATKA, Steven H.; PARANESE, William C. PCA: Diseño y control de mezclas de concreto. p. 116.

Además de los límites granulométricos indicados arriba, el agregado fino deberá tener un módulo de finura que no sea menor de 2,3 ni mayor de 3,1. Se utilizan cernidores calibrados para medir el grado de granulometría.

1.5.4. Aditivos

Los aditivos para concreto (concreto) son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

Se pueden distinguir dos grupos principales, los primeros son los Modificadores de la reología, que cambian el comportamiento en estado fresco, tal como la consistencia, docilidad, etc.

El segundo grupo es el de los modificadores del fraguado, que adelantan o retrasan el fraguado o sus condiciones.

Los componentes básicos del concreto son cemento, agua y áridos; otros componentes minoritarios que se pueden incorporar son: adiciones, aditivos, fibras, cargas y pigmentos.

Existen aditivos que incrementan la fluidez del concreto haciéndolo más manejable, los aditivos que aceleran el fraguado son especialmente diseñados para obras o construcciones donde las condiciones climáticas evitan un curado rápido.

Los aditivos retardantes son usados en lugares donde el concreto fragua rápidamente, especialmente en regiones con clima cálido o en situaciones

donde el concreto debe ser transportado a grandes distancias; esto con la intención de manipular la mezcla por mayor tiempo.

1.5.4.1. Tipos de aditivos

De acuerdo con su función principal se clasifica a los aditivos para el concreto de la siguiente manera:

- Aditivo reductor de agua/plastificante: no modifica la consistencia del concreto, permitiendo reducir el contenido de agua de un determinado concreto, o que, sin modificar el contenido de agua, aumenta el asiento (cono de abrams) escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.
- Aditivo reductor de agua superplastificante: no modifica la consistencia del concreto, aumenta considerablemente el asiento (cono de abrams) escurrimiento de manera poderosa.
- Aditivo reductor de agua: reduce la pérdida de agua, disminuyendo la exudación.
- Aditivo inclusor de aire: permite incorporar durante el amasado una cantidad determinada de burbujas de aire, uniformemente repartidas, que permanecen después del endurecimiento.
- Aditivo acelerador de fraguado: reduce el tiempo de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al rígido.

- Aditivo acelerador del endurecimiento: aumenta la velocidad de desarrollo de resistencia iniciales del concreto, con o sin modificación del tiempo de fraguado.
- Aditivo retardador de fraguado: aumenta el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido.
- Aditivo hidrófugo de masa: reduce la absorción capilar del concreto endurecido.
- Aditivo multifuncional: afecta a diversas propiedades del concreto fresco y/o endurecido actuando sobre más de una de las funciones principales definidas en los aditivos mencionados anteriormente.

Existe otra variedad de productos que, sin ser propiamente aditivos y por tanto sin clasificarse como ellos, pueden considerarse como tales ya que modifican propiedades del concreto, como ocurre con los colorantes o pigmentos que actúan sobre el color concreto, los generadores de gas que lo hacen sobre la densidad, etc.

1.5.4.2. Controles de calidad en aditivos

En cuanto a los controles implementados para garantizar la calidad de los aditivos, las concreteras invierten pocos recursos analizar este tipo de materiales, debido a la alta confiabilidad en los procesos de fabricación de las casas productoras. Como procedimiento implementado por parte de los productores de aditivos, con cada despacho se genera un reporte con las características del lote producido en donde se especifican los datos relevantes de desempeño.

1.6. Proceso de fabricación del concreto

Los componentes del concreto deben tener un adecuado manejo para garantizar un buen desempeño, ya que los abusos en su manipulación y almacenamiento afectan las propiedades de estos. De preferencia, el cemento que se emplea para la producción de concreto premezclado debe ser a granel. Cuando se tenga que emplear cemento en sacos, deben protegerse de las condiciones atmosféricas preferiblemente en un almacén cubierto y sobre plataformas, de modo que se permita la circulación del aire. Normalmente el agua de mezclado en zonas urbanas se toma del abastecimiento local. La demanda del agua depende del tipo de planta, capacidad de producción, sistema de mezclado y las condiciones ambientales.

El almacenamiento de agregados debe hacerse en patios suficientemente amplios para permitir la circulación y operación de equipos destinados a su transporte y manejo. Los aditivos fabricados en forma líquida deben almacenarse en tanques herméticos protegidos de los rigores del clima.

Figura 5. **Carga de concreto en plantas dosificadoras**



Fuente: Departamento de Operaciones Mixto Listo.

1.6.1. Dosificación

Es el proceso de pesar o medir volumétricamente e introducir al mezclador los ingredientes para una mezcla de concreto. Para producir concretos uniformes, los ingredientes deberán medirse con precisión en cada mezcla. La dosificación se debe efectuar por peso en vez de hacerlo por volumen, pues la medida con base en su volumen puede conducir a errores al no tenerse en cuenta el grado de compactación o expansión de las partículas, el grado de saturación o humedad de los agregados, ni el volumen absoluto de cada ingrediente en el momento de la dosificación. Solo el agua y los aditivos líquidos pueden ser medidos correctamente con base en el volumen.

1.6.2. Mezclado

Consiste en cubrir la superficie de todas las partículas de los agregados con pasta de cemento y obtener una masa uniforme. Todo concreto se debe mezclar completamente hasta que sea uniforme en apariencia, con todos sus ingredientes distribuidos equitativamente. En general, el cemento debe ser cargado junto con los agregados, pero luego de que haya entrado el 10% del agregado al tambor. Los aditivos deben cargarse en el tambor en el mismo punto de la secuencia del mezclado, mezcla tras mezcla. El concreto premezclado se puede elaborar por cualquiera de los métodos siguientes: concreto mezclado en planta, concreto mezclado en camión, concreto mezclado en dos fases.

1.6.3. Transporte y manejo del concreto

La planeación anticipada puede ayudar en la elección del método más apropiado de manejo para una aplicación. Considere las siguientes tres

ocurrencias que, si suceden durante el manejo y la colocación (colado), pueden afectar seriamente la calidad del trabajo acabado:

- Retrasos: el objetivo de la planeación de cualquier programa de trabajo es producir el trabajo con la mayor rapidez, con la menor fuerza laboral y con el equipo adecuado. Las máquinas para transporte y manejo de concreto están mejorando continuamente. La mayor productividad será lograda si se planea el trabajo para que se aprovechen, al máximo, el personal y los equipos y si estos se seleccionan para que se reduzcan los retrasos durante la colocación del concreto.
- Endurecimiento prematuro y secado: el concreto empieza a endurecerse en el momento que se mezclan los materiales cementantes y el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre en los primeros 30 minutos no es un problema. El concreto que se mantiene en agitación generalmente se lo puede colocar y compactar en un periodo de 1 1/2 hora después del mezclado, a no ser que la temperatura elevada del concreto o el contenido alto de cemento aceleren excesivamente la hidratación. El planeamiento debe eliminar o minimizar las variables que permitirían el endurecimiento del concreto en un grado tal que no se logre la consolidación completa y que torne el acabado difícil.
- Segregación: la segregación es la tendencia del agregado grueso de separarse del mortero de cemento y arena. Esto resulta en que parte de la mezcla tiene poca cantidad de agregado grueso y el resto tiene cantidad excesiva. La parte que tiene poca cantidad de agregado grueso tiende a retraerse y a fisurarse más, presentando poca resistencia a abrasión. La parte con cantidad excesiva de agregado puede ser muy

áspera, dificultando la consolidación y acabado completos, siendo una causa frecuente de apareamiento de agujeros.

Figura 6. **Transporte de concreto en camión mezclador**



Fuente: Departamento de Operaciones Mixto Listo.

1.6.4. Colocación del concreto

El vertido del concreto fresco en el interior del encofrado debe efectuarse evitando que se produzca la segregación de la mezcla. Para ello se debe evitar verterlo desde gran altura, hasta un máximo de dos metros de caída libre y no se debe desplazar horizontalmente la masa.

Se coloca por capas o tongadas horizontales de espesor reducido para permitir una buena compactación (hasta 40 cm en concreto en masa y 60 cm en concreto armado). Las distintas capas o tongadas se consolidan sucesivamente, trabando cada capa con la anterior con el medio de compactación que se emplee y sin que haya comenzado a fraguar la capa anterior.

Para conseguir un concreto compacto, eliminando sus huecos y para que se obtenga un completo cerrado de la masa, hay varios sistemas de consolidación. El picado con barra, que se realiza introduciéndola sucesivamente, precisa concretos de consistencias blandas y fluidas y se realiza en obras de poca importancia resistente. La compactación por golpeo repetido de un pisón se emplea en capas de 15 o 20 cm de espesor y mucha superficie horizontal. La compactación por vibrado es la habitual en concretos resistentes y es apropiada en consistencias secas.

Figura 7. **Colocación de concreto**



Fuente: Departamento de Operaciones Mixto Listo.

El vibrador más utilizado es el de aguja, un cilindro metálico de 35 a 125 mm de diámetro cuya frecuencia varía entre 3 000 y 12 000 ciclos por minuto. La aguja se dispone verticalmente en la masa de concreto fresco, introduciéndose en cada tongada hasta que la punta penetre en la capa anterior y cuidando de no tocar las armaduras pues la vibración podría separar la masa de concreto de la armadura. Mediante el vibrado se reduce el aire contenido en el concreto sin compactar que se estima del orden del 15 al 20% hasta un 2-3% después del vibrado.

El curado es una de las operaciones más importantes en el proceso de puesta en obra por la influencia decisiva que tiene en la resistencia del elemento final. Durante el fraguado y primer endurecimiento se producen pérdidas de agua por evaporación, formándose huecos capilares en el concreto que disminuyen su resistencia. En particular el calor, la sequedad y el viento provocan una evaporación rápida del agua incluso una vez compactado. Es preciso compensar estas pérdidas curando el concreto añadiendo abundante agua que permita que se desarrollen nuevos procesos de hidratación con aumento de la resistencia.

Hay varios procedimientos habituales para curar el concreto. Desde los que protegen del sol y del viento mediante tejadillos móviles, plásticos; mediante riegos de agua en la superficie; la inmersión en agua empleada en prefabricación; los productos de curado aplicados por pulverización; los pulverizados a base de resinas forman una película que impide la evaporación del agua, se trata de uno de los sistemas más eficaces y más costosos.

1.7. Proceso de inspección y ensayo de las muestras

Se debe enfatizar la importancia de la obtención de muestras realmente representativas del concreto fresco para los ensayos de control. A menos que la muestra sea representativa, los resultados de las pruebas serán engañosos. Las muestras se deben obtener y manejar de acuerdo con ASTM C 173. A excepción de las pruebas de rutina, tales como revenimiento (asentamiento) y contenido de aire, realizadas para el control del proceso, la ASTM C 172 requiere que el tamaño de la muestra para el propósito de aceptación debe ser, por lo menos, 28 litros (1 pie cúbico) y se la debe obtener durante los 15 minutos entre la primera y la última porción de la amasada (bachada, revoltura).

La muestra compuesta, producida con dos o más porciones, no se debe tomar enseguida a la porción inicial de la descarga, ni tampoco a la porción final. La muestra se debe proteger del sol, viento y otras fuentes de evaporación rápida durante el muestreo y el ensayo.

1.7.1. Inspección en planta

En Mixto Listo se utiliza una doble inspección del concreto en estado fresco, la primera se realiza en las plantas dosificadoras de concreto. Para realizar este procedimiento se cuenta con un laboratorio en cada planta que realiza pruebas según el plan de muestreos determinado por el Departamento Técnico de la empresa.

Regularmente los resultados de desempeño de los concretos de las muestras hechas en planta, tienen mejores resultados respecto a las realizadas en obra, esto debido a que las condiciones controladas en el laboratorio, la reducción de variabilidad que genera el traslado de especímenes de las obras al laboratorio y toda la variabilidad que generan los procesos de transporte y colocación del concreto.

El función a lo anterior, es posible asegurar que los resultados obtenidos de las inspecciones realizadas en planta generan información correcta del proceso de producción, pero, están muy distantes de reflejar el desempeño real del concreto que los clientes obtienen en las obras.

1.7.2. Ensayo de muestras hechas en planta

Los ensayos de especímenes, tienen como objetivo determinar la resistencia del concreto en función de las muestras tomadas en el proceso de

fabricación de los mismos. Para ello se requiere de elaborar 3 parejas de cilindros, dos para ensayarlos a los 28 días, que es la edad a la cual se especifica el 100% de desarrollo de resistencia de un concreto, y las otras dos parejas, se ensayan a edades más tempranas, generalmente a 3 y 7 días, para poder tener hacer una correlación en base a estos resultados que genere una alerta en caso se proyecte resultados muy bajos.

El ACI 318 declara que la resistencia del concreto se puede considerar satisfactoria si se logran las siguientes condiciones: el promedio del conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia igual o superior al especificado para la resistencia a los 28 días y ningún ensayo individual de resistencia (promedio de dos cilindros) con resistencia de 35 kg/cm² o 3,5 MPa (500 lb/pulg²) menor que la especificada. Si los resultados de los cilindros no cumplen con estos criterios, se debe evaluar la resistencia del concreto en in situ a través de corazones (testigos, núcleos) aserrados.

Además de dos cilindros con 28 días de edad, las especificaciones de obra frecuentemente requieren uno o dos cilindros con 7 días o más cilindros de espera. Los cilindros con 7 días controlan el desarrollo de la resistencia en edades tempranas. Los cilindros de espera se usan comúnmente para ofrecer información adicional, en el caso de que los cilindros con 28 días se dañen o no logren la resistencia a compresión requerida.

Cuando ocurren resultados bajos de resistencia a compresión a los 28 días, los cilindros de espera se prueban a los 56 días de edad. La eficiencia de los procedimientos de protección y curado también se deben evaluar cuando los cilindros curados en obra presenten menos de 85% de la resistencia de los cilindros hermanos curados en laboratorio. Se puede renunciar a este requisito de 85% cuando la resistencia de los cilindros curados en obra supere más de

35 kg/cm² o 3,5 MPa (500 lb/pulg²). Cuando es necesaria, la resistencia del concreto en la estructura se debe determinar a través de la prueba de 3 corazones, extraídos de la porción de la estructura cuyos cilindros curados en laboratorio no cumplan los criterios de aceptación.

1.7.3. Inspección en obra

La inspección de concreto en obra, como lo describimos anteriormente, es un proceso que se efectúa en condiciones no ideales, debido al poco control de los procesos y de las condiciones físicas para el almacenamiento temporal en las obras. Otro factor importante que genera variabilidad en los resultados, es el traslado de los especímenes al laboratorio, debido a que en Guatemala el estado de las carreteras son deficientes, genera un exceso de vibración que generan en micro fisuras a los especímenes los cuales pierden cierto nivel de resistencia al ser ensayados en el laboratorio.

1.7.4. Ensayo de muestras en obra

Los ensayos de las muestras hechas en obra, no difieren respecto a las hechas en planta, debido a que el proceso de los ensayos se realiza en el mismo laboratorio con el mismo equipo y con los mismos procedimientos. Los resultados de las mismas son los que difieren, esto en función de lo expuesto en los puntos anteriores, referentes a la variación de condiciones que genera el proceso de muestro de concreto fresco y el manejo posterior de especímenes.

1.8. Impacto del uso del cemento

La fabricación de cemento tiene impactos negativos y positivos en las comunidades cercanas a las plantas que lo producen, en el nivel de vida de las

personas que hacen uso de éste y por su puesto en los costos operativos de la industria concretera, ya que el cemento es su principal componente para la fabricación de concreto premezclado.

A continuación se explicarán los principales impactos enumerados anteriormente.

1.8.1. Impacto económico del cemento en la industria concretera

El cemento es el componente activo para la producción de concreto, sin este no sería posible poder producirlo, ya que no existe ningún otro material sustituto que haga posible obtener las características necesarias para el desempeño deseado en los concretos.

Cualquier variación de precios que el cemento pueda tener, impactará directamente en la industria del concreto, es por ello que a continuación se presenta una serie de datos que permitirán dimensionar de manera clara cómo impacta el cemento en los costos de fabricación del concreto premezclado.

1.8.1.1. Costos de fabricación del concreto

Para determinar el costo unitario de fabricación del concreto premezclado, las concreteeras dividen sus costos en cuatro grandes rubros:

- Costos materia prima
- Costos de dosificación
- Costos de distribución
- Costos de bombeo y colocación

En promedio, el costo de la materia prima, representa un 75% del total del costo del concreto, y del rubro de materia prima, el cemento constituye un 63% del costo, es decir un 47% del costo total.

En base a lo anterior, se puede evidenciar fácilmente que cualquier esfuerzo enfocado a reducir el uso del cemento en la dosificación de los concretos premezclados constituye una fuerte importante en la reducción de costos.

1.8.2. Impacto del cemento en el medio ambiente

El uso de materiales reciclados como ingredientes del concreto está ganando popularidad debido a la cada vez más severa legislación medioambiental. Los más utilizados son las cenizas volantes, un subproducto de las centrales termoeléctricas alimentadas por carbón. Su impacto es significativo pues posibilitan la reducción de canteras y vertederos, ya que actúan como sustitutos del cemento, y reducen la cantidad necesaria para obtener un buen concreto.

1.8.2.1. Descripción general del proceso de fabricación

Existe una gran variedad de cementos según la materia prima base y los procesos utilizados para producirlo, que se clasifican en procesos de vía seca y procesos de vía húmeda. El proceso de fabricación del cemento comprende cuatro etapas principales:

- Extracción y molienda de la materia prima
- Homogeneización de la materia prima

- Producción del clinker
- Molienda de cemento

La materia prima para la elaboración del cemento (caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso) se extrae de canteras o minas y, dependiendo de la dureza y ubicación del material, se aplican ciertos sistemas de explotación y equipos. Una vez extraída la materia prima es reducida a tamaños que puedan ser procesados por los molinos de crudo.

La etapa de homogeneización puede ser por vía húmeda o por vía seca, dependiendo de si se usan corrientes de aire o agua para mezclar los materiales. En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogeneización y de allí hasta los hornos en donde se produce el clinker a temperaturas superiores a los 1 500 °C. En el proceso seco, la materia prima es homogeneizada en patios de materia prima con el uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los hornos son más cortos y el clinker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas.

El clinker obtenido, independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogeneización, es luego molido con pequeñas cantidades de yeso para finalmente obtener cemento.

Respecto al almacenamiento del producto, si es cemento en sacos, deberá almacenarse sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses. Para evitar que el cemento envejezca indebidamente, después de llegar

al área de las obras, el contratista deberá utilizarlo en la misma secuencia cronológica de su llegada. No se utilizará bolsa alguna de cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en el área de las obras, salvo que nuevos ensayos demuestren que está en condiciones satisfactorias.

1.8.2.2. Impactos positivos

Las plantas de cemento pueden tener impactos ambientales positivos en lo que se relaciona con el manejo de los desechos, la tecnología y el proceso son muy apropiados para la reutilización o destrucción de una variedad de materiales residuales, incluyendo algunos desperdicios peligrosos. Asimismo, el polvo del horno que no se puede reciclar en la planta sirve para tratar los suelos, neutralizar los efluentes ácidos de las minas, estabilizar los desechos peligrosos o como relleno para el asfalto.

1.8.2.3. Impactos negativos

El impacto negativo más grande de la industria del cemento al medio ambiente lo podemos resumir en la siguiente relación: Por cada tonelada de cemento fabricado, el proceso genera una tonelada de dióxido de carbono.

Otros impactos ambientales negativos de las operaciones de cemento ocurren en las siguientes áreas del proceso: manejo y almacenamiento de los materiales (partículas), molienda (partículas), y emisiones durante el enfriamiento del horno y la escoria (partículas) o polvo del horno, gases de combustión que contienen monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos, aldehídos, cetonas, y óxidos de azufre y nitrógeno). Los contaminantes hídricos se encuentran en los derrames del material de alimentación del horno (alto pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos,

principalmente potasio y sulfato), y el agua de enfriamiento del proceso (calor residual).

El polvo, especialmente la sílice libre, constituye un riesgo importante para la salud de los empleados de la planta cuya exposición provoca la silicosis. Algunos de los impactos mencionados pueden ser evitados completamente, o atenuados más exitosamente, si se escoge el sitio de la planta con cuidado.

1.8.3. Impacto ambiental del cemento medido por la metodología de Huella de Carbono

La Huella de Carbono contabiliza la cantidad de CO₂ equivalente emitida de manera directa o indirecta durante todo el proceso productivo de una industria, en este caso, de la industria concretera.

Los elementos que se consideran para calcular la huella de carbono son: el transporte, las materias primas, la energía y combustible.

Dentro del elemento de transporte, se incluyen las emisiones ocasionadas por el transporte de las materias primas, el transporte del combustible, insumos de producción y del concreto premezclado.

Dentro del elemento de materia prima, se incluyen las emisiones adicionadas por el cemento, adiciones cementantes y agua utilizada en el proceso.

Por último, dentro del elemento de energía y combustible se contabilizan las emisiones ocasionadas por la energía y diésel utilizados dentro del proceso productivo.

La producción mundial anual de concreto de 6 mil millones de metros cúbicos ocasiona aproximadamente el 4% de la carga total de dióxido de carbono en la atmósfera. Es por ello que, a nivel mundial, los fabricantes de cemento están haciendo esfuerzos muy grandes por encontrar procesos y materias que minimicen el impacto de sus operaciones.

1.8.3.1. Huella de carbono de la industria concretera en Guatemala

Con base en las mediciones recientes efectuadas en la medición de huella de carbono de las industrias concreteras, se generó la siguiente información trasladada a Guatemala.

Tabla VII. **CO2 generado por la industria de concreto en Guatemala**

Medición	Industria Concreto GUA	Mixto Listo
Producción de concreto/año	763 000 m3	519 600 m3
Generación CO2/ año	288 250 Ton	196 235 Ton
CO2 proveniente cemento	244 279 Ton	166 300 Ton

Fuente: elaboración propia, con base en mediciones de Metodología de Huella de Carbono de Cemex México.

En función de los datos de producción de concreto a nivel nacional y de la metodología de la huella de carbono se determina que actualmente se generan 0,37 Ton de CO2 por cada m3 producido de concreto y 1 Ton de CO2 por cada Ton de cemento producido.

2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

En este capítulo se analizará la situación actual del proceso productivo para poder definir la base de trabajo y hacer un estimado del alcance e impacto que el proyecto tendrá luego de haberse implementado.

2.1. Consumo de cemento en los concretos producidos

El indicador de consumo de cemento en la industria concretera se mide por la relación kilogramo de cemento por metro cúbico de concreto (Kg/m³).

Tomando en cuenta que el cemento representa en promedio para la empresa un 47% del costo de fabricación, es importante implementar acciones que permitan disminuir la cantidad de cemento en cada diseño sin afectar el desempeño del producto. Como punto de partida se analizará la cantidad actual de cemento para cada uno de los concretos producidos en las diversas plantas de la empresa, para que posteriormente en función de las actividades propuestas, sea factible determinar un objetivo de reducción de cemento en los diseños.

En la actualidad, el portafolio de productos se compone de 10 familias de concretos, con un total de 101 concretos. Según la proyección de ventas del último año, el consumo total de cemento para la producción de Mixto Listo será de 149 328 035 Kg de cemento, al relacionar este consumo con el precio de mercado del cemento que actualmente es de Q1,30/Kg de cemento, encontramos que el costo anual de cemento será de Q194 126 445,50.

Tabla VIII. **Consumo de cemento por familia de concreto**

Tipo de Concreto (familias)	Código de Producto	Productos por familia	Requerimiento de cemento promedio por familia	Proyección anual de consumos de concreto	Participación de Venta	Consumo de Kilos de Cemento Anual	Costo de Cemento Anual
Concretos Convencionales	CON.	16	290 Kg	299,715 m3	60%	86,917,350 Kg	Q 112,992,555.00
Concretos de Bajo Asentamiento	CONB	23	280 Kg	48,747 m3	10%	13,649,160 Kg	Q 17,743,908.00
Concretos Fluidos	CONF	12	300 Kg	33,950 m3	7%	10,185,000 Kg	Q 13,240,500.00
Concretos Super Fluido	COSP	12	315 Kg	10,705 m3	2%	3,372,075 Kg	Q 4,383,697.50
Concretos de resistencia acel a 3 días	COA3	10	350 Kg	2,735 m3	1%	957,250 Kg	Q 1,244,425.00
Concretos de resistencia acel a 7 días	COA7	10	330 Kg	13,440 m3	3%	4,435,200 Kg	Q 5,765,760.00
Concretos Por Uso	CONX	6	245 Kg	33,910 m3	7%	8,307,950 Kg	Q 10,800,335.00
Concretos para Vivienda en serie	CONC	3	330 Kg	22,454 m3	4%	7,409,820 Kg	Q 9,632,766.00
Concretos de Baja Permeabilidad	COBP	5	365 Kg	27,852 m3	6%	10,165,980 Kg	Q 13,215,774.00
Concretos de Alta resistencia	CONJ	4	475 Kg	8,270 m3	2%	3,928,250 Kg	Q 5,106,725.00
TOTAL	----	101	281 Kg	501,778.00	100%	149,328,035 Kg	Q 194,126,445.50

Fuente: elaboración propia.

2.1.1. **Concreto representativo**

Para poder diseñar y ejecutar el plan para reducir la cantidad de cemento en los diseños de concretos, es necesario reducir el análisis a un solo concreto, el cual sea una muestra representativa de la producción de la empresa. En caso de no hacerlo e intentar realizar las mediciones tomando en cuenta los 101 concretos existentes, resultará inefectivo y complejo de realizar mediciones que arrojen información relevante.

Como se observa en la tabla VIII, la familia de concretos convencionales es la familia que más se produce y despacha a los clientes de la empresa, representando un 60% del volumen total proyectado. En esta familia existe un concreto que por sus características es el concreto de mayor uso a nivel nacional, éste es el concreto cuyo código es CON.3003, la descripción de este concreto es la siguiente:

- Concreto convencional
- Resistencia a la compresión de 3 000 psi a 28 días

- Tamaño máximo del agregado: 1''
- *Slump*: 5'' +/- 1''

De los 101 tipos de concretos fabricados por la empresa, el CON.3003 representa el 45% del total de la producción anual, por lo cual será este el producto que utilizaremos como referencia a lo largo del estudio.

2.2. Variaciones de resistencias de concreto

Para obtener mejores resultados en la disminución de la variabilidad de las resistencias de los concretos, se realizó una revisión a los procesos y sus componentes, pudiendo determinar y agrupar las causas de variabilidad de la siguiente manera:

- Un diseño adecuado del concreto
- Control de la materia prima disponible
- Proceso de producción estándar
- Sistema de inspección bajo norma y confiable

Con el fin de poder planificar y ejecutar acciones orientadas a disminuir la variabilidad de resistencia de los concretos, a continuación listaremos los principales factores, que luego serán la referencia para el diseño de dicho plan:

- Control de la relación agua/cemento
- Tipo de cemento
- Propiedades del cemento
 - Finura Blaine
 - Tiempo de fraguado
 - Densidad

- Resistencia a la compresión
- Demanda de agua
- Calor de hidratación
- Propiedades de los agregados
 - Granulometría de los agregados
 - Forma y Textura de los agregados
 - Resistencia de los agregados
 - Tamaño máximo del agregado
- Sistema de dosificación, puede ser por peso o por volumen
- Controles implementados en la dosificación
- Sistema de transporte
- Controles implementados en el transporte
- Proceso de inspección y ensayo

2.2.1. Variabilidad de resistencias en plantas

Para poder determinar el grado de variabilidad de las resistencias de los concretos muestreados en planta, se realizaron mediciones por cinco días consecutivos, tomando 3 muestras por día del concreto representativo. Las mediciones se realizaron en la misma planta de dosificación de concreto para evitar generar otra fuente más de variabilidad, por las condiciones cambiantes de los procesos de cada planta.

Los datos obtenidos de dicho análisis se presentan de forma resumida en la tabla IX, la cual presenta los datos de las resistencias de los concretos muestreados en las plantas.

Tabla IX. **Resistencia de concreto en muestras elaboradas en plantas**

Muestra	Resistencia a la compresión cilindro 1 a 28 días	Resistencia a la compresión cilindro 2 a 28 días	Resistencia Promedio
1	4,189 psi	4,254 psi	4,222 psi
2	3,878 psi	3,988 psi	3,933 psi
3	3,214 psi	3,654 psi	3,434 psi
4	4,455 psi	4,185 psi	4,320 psi
5	3,248 psi	3,889 psi	3,569 psi
6	3,648 psi	3,478 psi	3,563 psi
7	3,989 psi	4,257 psi	4,123 psi
8	4,189 psi	3,287 psi	3,738 psi
9	3,125 psi	3,249 psi	3,187 psi
10	4,128 psi	4,266 psi	4,197 psi
11	3,284 psi	3,582 psi	3,433 psi
12	3,748 psi	3,793 psi	3,771 psi
13	3,848 psi	3,695 psi	3,772 psi
14	3,577 psi	3,462 psi	3,520 psi
15	3,188 psi	3,452 psi	3,320 psi
Promedio			3,740 psi
Dato Mínimo			3,187 psi
Dato Máximo			4,320 psi
Rango			1,133 psi
Desviación Estándar			353 psi

Fuente: elaboración propia.

La información refleja que el promedio de las resistencias de las 15 parejas de cilindros muestreados está 740 psi por arriba de $f'c$, la cual es la resistencia a la cual se comercializa el concreto, con un rango entre el dato más alto y el más bajo de 1 133 psi, una desviación de 353 psi y muestra que el dato más bajo tiene una resistencia a la compresión de 3 187 psi, lo cual equivale a 187 psi arriba de la $f'c$.

2.2.2. Variabilidad de resistencias en obras

Para poder determinar el grado de variabilidad de las resistencias de los concretos muestreados en las obras, se realizaron mediciones por cinco días consecutivos, tomando 3 muestras por día del concreto representativo. Los 15 concretos muestreados en obra, son exactamente los mismos concretos que se muestrearon en las plantas, esto para poder correlacionar ambas mediciones posteriormente, los datos obtenidos se presentan a continuación.

Tabla X. Resistencia de concreto en muestras elaboradas en obras

Muestra	Resistencia a la compresión cilindro 1 a 28 días	Resistencia a la compresión cilindro 2 a 28 días	Resistencia Promedio
1	3,987 psi	3,874 psi	3,931 psi
2	3,578 psi	3,478 psi	3,528 psi
3	3,314 psi	3,158 psi	3,236 psi
4	4,187 psi	4,218 psi	4,203 psi
5	3,287 psi	3,187 psi	3,237 psi
6	3,578 psi	3,487 psi	3,533 psi
7	3,487 psi	3,248 psi	3,368 psi
8	3,025 psi	3,184 psi	3,105 psi
9	3,125 psi	3,249 psi	3,187 psi
10	3,258 psi	3,484 psi	3,371 psi
11	3,284 psi	3,582 psi	3,433 psi
12	3,247 psi	3,258 psi	3,253 psi
13	3,487 psi	3,025 psi	3,256 psi
14	3,581 psi	3,048 psi	3,315 psi
15	3,004 psi	3,098 psi	3,051 psi

Promedio	3,400 psi
Dato Mínimo	3,051 psi
Dato Máximo	4,203 psi
Rango	1,152 psi
Desviación Estándar	307 psi

Fuente: elaboración propia.

La información nos refleja que el promedio de las resistencias están 400 psi por arriba de $f'c$, con un rango entre el dato más alto y el más bajo de 1 152 psi, con una desviación de 307 psi y muestra que el dato más bajo estuvo tan solo 51 psi arriba de la $f'c$.

2.3. Proceso de producción

Para producir concreto existen varios métodos, los cuales por sus características poseen mayor o menor eficiencia en el control de variabilidad de resistencias de los concretos. A nivel mundial podemos observar procesos muy automatizados y confiables, hasta aquellos rudimentarios y manuales en donde la mezcla es hecha en las obras, mezclando los materiales con herramientas manuales y haciendo las mediciones de dosificación de cada material de manera inexacta.

Los métodos utilizados por Mixto Listo para la de producción son los siguientes:

- Producción de concreto con plantas dosificadoras: este tipo de plantas cuentan con un sistema automatizado de carga de los materiales, el sistema toma el diseño del concreto a producir y ejecuta la dosificación por cada material en función de su peso. Las tolerancias de variación de peso por cada material es de 2%. Luego del pesaje de cada material la planta carga el material en los camiones mezcladores, los cuales se encargarán luego de mezclar en el trayecto hacia la obra el concreto para que resulte de esto una mezcla homogénea. El 93% de los concretos producidos en Mixto Listo se fabrican con este sistema.

Figura 8. **Planta dosificadora de concreto**



Fuente: Departamento de Operaciones Mixto Listo.

- Producción de concreto en plantas pre mezcladoras: operan de manera similar a las plantas dosificadoras, la única diferencia radica en el sistema de mezclado, ya que esta planta incorpora un *mixer*.

Figura 9. **Planta premezcladora de concreto**



Fuente: Departamento de Operaciones Mixto Listo.

- Producción de concreto en plantas móviles: este sistema se utiliza en los proyectos en donde no hay cobertura de las plantas dosificadoras o premezcladoras de concreto. Es un sistema poco confiable debido a que dosifican los materiales por cuantificación de volumen y no por peso. En Mixto Listo, el 0,9% de los concretos se produce por este método.

Figura 10. **Planta móvil de concreto**



Fuente: Departamento de Operaciones Mixto Listo.

- Producción de concreto en vehículos auto cargables: Al igual que el método anterior, este sistema se utiliza en los proyectos en donde no hay cobertura de las plantas dosificadoras o premezcladoras de concreto. Es un sistema poco confiable debido a que dosifican los materiales por cuantificación de volumen y no por peso. En Mixto Listo, el 1,2% de los concretos se produce por este método.

Figura 11. **Vehículo auto cargable para la producción de concreto**



Fuente: Departamento de Operaciones Mixto Listo.

2.4. Proceso de control de calidad

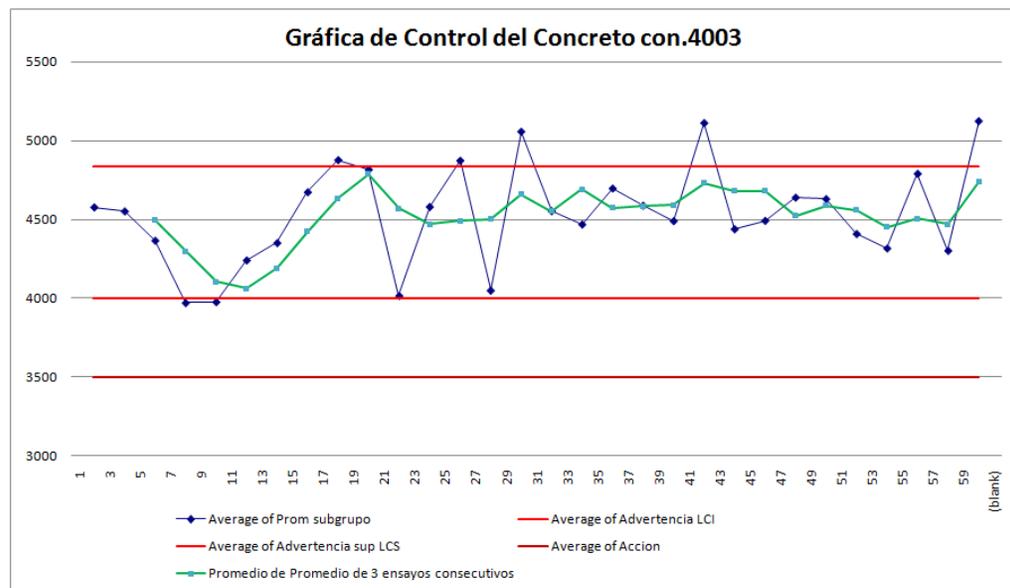
El proceso de utilizado para controlar la calidad y el desempeño de los concretos abarca varias fases del proceso, los cuales van desde controles de materia prima en las áreas de almacenamiento de los mismos proveedores, hasta la medición de características muchos días después (generalmente 28 y 56 días) de colocado el concreto.

El aseguramiento de la calidad del concreto se basa en las leyes de probabilidad, cuyo requisito para su funcionamiento es un muestreo aleatorio, en donde todas las partes tienen igual oportunidad de ser seleccionadas.

Para poder utilizar esta herramienta se necesita como mínimo 30 datos (30 parejas de cilindros). Si se cuenta con menos datos se estará afectado por un factor y no deben abarcar un periodo mayor de 45 días.

Para poder determinar tendencias ya sea de disminución o ganancia de resistencia, así como detectar datos puntuales en los que el proceso se ha visto afectado, se utilizan cartas de control por cada concreto producido. Para ello se definen límites de control superior e inferior, los cuales serán las tolerancias de aceptación y de garantía de un proceso conforme.

Figura 12. **Gráficas de control para concretos convencionales**



Fuente: Departamento de Control de Calidad Mixto Listo.

La prueba de consistencia es la la primer prueba al concreto fresco, conocida como ensayo de revenimiento o asentamiento del cono de Abrams, es el método más aceptado y utilizado para medir la consistencia del concreto. El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (molde cónico de metal 300 mm [12 pulg.] de altura, con 200 mm [8 pulg.] de diámetro de base y 100 mm [4 pulg.] de diámetro de la parte superior) y una varilla de metal con 16 mm

de diámetro (5/8 pulg.) y 600 mm (24 pulg.) de longitud con una punta de forma hemisférica.

El cono húmedo, colocado verticalmente sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, se debe llenar en tres capas de volúmenes aproximadamente iguales. Por lo tanto, se debe llenar el cono hasta una profundidad de 70 mm (2 1/2 pulg.) en la primera capa, una profundidad de 160 mm (6 pulg.) en la segunda y la última capa se debe sobrellenar. Se aplican 25 golpes en cada capa. Después de los golpes, se enrasa la última capa y se levanta el cono lentamente aproximadamente 300 mm (12 pulg.) en 5 ± 2 segundos.

A medida que el concreto se hunde o se asienta en una nueva altura, se invierte el cono vacío y se lo coloca gentilmente cerca del concreto asentado. El revenimiento o el asentamiento es la distancia vertical que el concreto se ha asentado, medida con una precisión de 5 mm (1/4 pulg.). Se usa una regla para medir de la parte superior del molde del cono hasta en centro original desplazado del concreto asentado.

Un valor más elevado de revenimiento (asentamiento) es indicativo de un concreto más fluido. Todo el ensayo hasta la remoción del cono se debe completar en 2 1/2 minutos, pues el concreto pierde revenimiento con el tiempo. Si hay desmoronamiento de una parte del concreto, se debe realizar otra prueba con otra porción de la muestra.

Otro método de ensayo para la fluidez (flujo) del concreto fresco envuelve el uso del medidor k de revenimiento (ASTM C 1362). Éste es un aparato de sondeo que se introduce dentro del concreto en cualquier localización donde haya una profundidad de concreto mínima de 175 mm (7 pulg.) y un radio de

concreto alrededor del medidor de 75 mm (3 pulg.). La cantidad de mortero fluyendo para dentro de las aberturas del medidor es la medida de fluidez.

La medición de la temperatura es una prueba muy importante, debido a la gran influencia sobre las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido, muchas especificaciones limitan la temperatura del concreto fresco. Están disponibles termómetros de vidrio o con coraza. El termómetro debe tener precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{F}$) y debe permanecer en una muestra representativa de concreto, por lo menos, 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.

Un mínimo de 75 mm de concreto debe rodear la porción sensitiva del termómetro. También están disponibles los medidores de temperatura electrónicos con lectura digital.

La medición de la temperatura se debe terminar en un periodo de 5 minutos después de tomada la muestra.

Contenido de aire: se pueden utilizar varios métodos para medir el contenido de aire del concreto fresco. Las normas incluyen el Método por Presión (ASTM C 231), el Método Volumétrico (ASTM C 173) y el Método Gravimétrico (ASTM C 138).

El método por presión, que es el utilizado de manera común en Guatemala se basa en la ley de Boyle, la cual relaciona presión y volumen. Muchos medidores de aire comercialmente disponibles están calibrados para leer contenido de aire directamente cuando se aplica una presión predeterminada. La presión aplicada comprime el aire dentro de la muestra de concreto, incluyendo el aire en los poros de los agregados. Por esta razón, las pruebas

por este método no son adecuadas para medir el contenido de aire de concretos producidos con algunos agregados ligeros (livianos) u otros materiales muy porosos.

Los factores de corrección del agregado, el cual compensa el aire atrapado (aire ocluido) en los agregados de peso normal son relativamente constantes y, a pesar de pequeños, se los debe substraer de la lectura en el medidor de presión para obtener el contenido de aire correcto. Se debe calibrar el equipo para varias altitudes sobre el nivel del mar, si se lo va a utilizar en sitios que tengan diferencia en altitudes considerables. Algunos medidores usan cambio de presión de un volumen conocido de aire y no se afectan por los cambios de altitudes. Los medidores de presión son ampliamente usados porque no hay necesidad de conocerse las proporciones de la mezcla, ni la gravedad específica de los ingredientes del concreto.

Especímenes para resistencia: los especímenes (probetas) moldeados para los ensayos de resistencia se deben preparar de acuerdo con ASTM C 31. La preparación de los especímenes debe empezar, como máximo, 15 minutos después de la obtención de la muestra del concreto.

La probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 mm (2 pulg.) o menor es un cilindro de 150 mm (6 pulg.) de diámetro por 300 mm (12 pulg.) de altura. Para agregados mayores, el diámetro del cilindro debe ser, por lo menos, tres veces mayor que la dimensión máxima del agregado y la altura debe ser dos veces el diámetro. Aunque se prefieren los moldes metálicos rígidos, se puede usar moldes de plástico, de cartón parafinado u otro tipo de molde desechable, conforme ASTM C 470. Se deben colocar los moldes sobre una superficie lisa, nivelada y rígida y se los deben llenar cuidadosamente para evitar distorsiones en su forma.

Los cilindros de prueba que se compactan con golpes (revenimiento de 25 mm [1 pulg.] o más) se deben llenar en tres capas aproximadamente iguales y cada capa debe recibir 25 golpes en los cilindros de 150 mm (6 pulg.) de diámetro, mientras que las vigas con hasta 200 mm (8 pulg.) de profundidad se deben llenar en dos capas, golpeándolas con una varilla de 16 mm [5/8 pulg.] de diámetro una vez por capa para cada 1 400 mm² (2 pulg²) de área de superficie superior. Si la varilla deja agujeros, los lados de los moldes se deben golpear ligeramente con una maceta o con la mano abierta.

La resistencia de los especímenes de prueba se puede afectar considerablemente con golpes, cambios de temperatura y exposición al secado, principalmente en las primeras 24 horas después de su moldeo. Por lo tanto, los especímenes de prueba se deben colar en sitios donde no sean necesarios movimientos y donde sea posible su protección. Los cilindros y las vigas se deben proteger contra manejos bruscos a cualquier edad. Es importante acordarse de identificar los especímenes en la parte externa de los moldes para prevenir confusión y errores en la información. No grabe el número de identificación en la superficie de los especímenes de concreto fresco. Use cinta adhesiva o etiqueta de identificación que no dañe la muestra.

2.5. Testeos para determinar situación actual bajo condiciones ideales

Como se ha visto a lo largo del presente análisis, las principales fuentes de variación se agrupan en las que están relacionadas al proceso de producción y a aquellas relacionadas al proceso de control de la calidad.

Para poder determinar cuál de las dos fuentes de variación tiene mayor incidencia en la variación de resistencias, se harán dos tipos de testeos:

- Los testeos que simulen condiciones ideales en el proceso de producción (el proceso de control de calidad se hará como de costumbre).
- Los testeos que simulen condiciones ideales en el proceso de control de la calidad (el proceso de producción se hará como de costumbre).

El objetivo de estos dos testeos será medir en dónde se deben de realizar los esfuerzos que nos den resultados importantes.

El tercer testeo será el que simule las condiciones de ambos procesos de manera ideal, esto con el fin de definir una meta realista media vez se hayan implementado todos los cambios.

Figura 13. **Plan de Testeos para diagnóstico inicial al concreto**

No	Plan de Testeos	Fecha
1	T1: Testeo con condiciones ideales en Proceso de Producción	Día 1 a día 5
2	T2: Testeo con condiciones ideales en Proceso de Control de la Calidad	Día 6 a día 10
3	T3: Testeo con condiciones ideales en ambos procesos	Día 11 a día 15
4	Presentación de resultados y definición de Procesos críticos a optimizar	Día 18
5	Optimización de procedimientos, definición indicadores y Proceso de mejora continua	continuo

Fuente: elaboración propia.

2.5.1. Condiciones ideales en subproceso de producción

El primer testeo a realizar será el que se enfoque a determinar cuál es el impacto en los resultados simulando condiciones controladas en el proceso de producción. Las condiciones de este testeo serán las siguientes:

- La planta debe de estar calibrada y debe de hacerse una comprobación de pesos y flujómetros el primer día del testeo.
- La carga de planta debe de generar que el concreto salga con el asentamiento máximo.
- No agregarle más agua al concreto desde que sale del cargadero hasta su descarga.
- Los camiones deben de estar en condiciones óptimas (no concreto pegado, buen sistema de mezclado, misma familia).
- Conducir el camión a una velocidad de revolución según norma, con el objetivo de no generar calor por fricción.
- Cinco días de muestreos, continuos, efectuados en la misma planta para evitar variabilidad.
- Realizar dos muestras por camión mezclador (1 en planta y otra en obra).
- Fabricación de 6 cilindros por muestra (los ensayos se realizarán a los 3,7 y 28 días).

- Las condiciones generales de los muestreos no cambian, esto con la finalidad de que se midan en parámetros distintos.

2.5.2. Condiciones ideales en subproceso de control de la calidad

El segundo testeo a realizar será el que se enfoque a determinar cuál es el impacto en los resultados simulando condiciones controladas en el proceso de control de la calidad. Las condiciones de este testeo serán las siguientes:

- El tamaño de los cilindros para realizar las muestras a los concretos será de 6'' x 12''.
- Deben existir condiciones ideales para toma de muestra en obra (según ASTM-C172).
 - La recolección de cilindros deben de hacerse después de 14 y antes de 24 horas de confección de los mismos.
 - El ingeniero de calidad supervisará y dará la aprobación de las condiciones del vehículo antes de salir de planta.
 - El ingeniero de calidad supervisará y dará la aprobación del procedimiento de traslado de especímenes.
- Deben existir condiciones ideales para traslado de especímenes (según ASTM-C31).

- Proteger los cilindros de sacudidas y golpes durante el traslado y manipulación.
- Al llegar al laboratorio, los cilindros se deben de ingresar inmediatamente a curado.
- El ingeniero de calidad supervisará y dará el visto bueno del procedimiento de identificación y curado.
- Los especímenes deben de estar totalmente sumergidos para su correcto curado.
- El procedimiento de ensayo de cilindros debe de realizarse según procedimiento normado (ASTM-C39).
 - La prensa en donde se realizarán los procedimientos de ensayo debe de estar calibrada.
 - Los cilindros deben de estar en condiciones de secado superficial al aire.
 - El ensayo de cada cilindro se debe de realizar a la velocidad correcta.
- Se deben de tomar dos muestras por cada camión (1 en planta y otra en obra).
- Se deben de fabricar 6 cilindros por muestra (para ensayar a 3, 7 y 28 días).

- Las condiciones generales de los muestreos no cambian, esto con la finalidad de que se midan en parámetros distintos.

2.5.3. Condiciones ideales en el proceso completo

El tercer y último testeo a realizar será el que se enfoque a determinar cuál es el impacto en los resultados simulando condiciones controladas ambos procesos. Esto con el fin de definir una meta realista media vez se hayan implementado todos los cambios. Las condiciones de este testeo serán las siguientes:

- La planta debe de estar calibrada y debe de hacerse una comprobación de pesos y flujómetros el primer día del testeo.
- La carga de planta debe de generar que el concreto salga con el asentamiento máximo.
- No agregarle más agua al concreto desde que sale del cargadero hasta su descarga.
- Los camiones deben de estar en condiciones óptimas (no concreto pegado, buen sistema de mezclado, misma familia).
- Conducir el camión a una velocidad de revolución según norma, con el objeto de no generar calor.
- Cinco días de muestreos, continuos, efectuados en la misma planta para evitar variabilidad.

- Realizar dos muestras por camión mezclador (una en planta y otra en obra).
- Fabricación de 6 cilindros por muestra (para ensayar en parejas a los 3, 7 y 28 días).
- El tamaño de los cilindros para realizar las muestras a los concretos será de 6'' x 12''.
- Deben existir condiciones ideales para toma de muestra en obra (según ASTM-C172)
 - La recolección de cilindros deben de hacerse después de 14 y antes de 24 horas de confección de los mismos.
 - El ingeniero de calidad supervisará y dará la aprobación de las condiciones del vehículo antes de salir de planta.
 - El ingeniero de calidad supervisará y dará la aprobación del procedimiento de traslado de especímenes.
- Deben existir condiciones ideales para traslado de especímenes (según ASTM-C31).
 - Proteger los cilindros de sacudidas y golpes durante el traslado y manipulación.
 - Al llegar al laboratorio, los cilindros se deben de ingresar inmediatamente a curado.

- El ingeniero de calidad supervisará y dará el visto bueno del procedimiento de identificación y curado.
- Los especímenes deben de estar totalmente sumergidos para su correcto curado.
- El procedimiento de ensayo de cilindros debe de realizarse según procedimiento normado (ASTM-C39).
 - La prensa en donde se realizarán los procedimientos de ensayo debe de estar calibrada.
 - Los cilindros deben de estar en condiciones de secado superficial al aire.
 - El ensayo de cada cilindro se debe de realizar a la velocidad correcta.
- Se deben de tomar dos muestras por camión (una en planta y otra en obra).
- Se deben de fabricar 6 cilindros por muestra (para ensayar a 3, 7 y 28 días).
- Las condiciones generales de los muestreos no cambian, esto con la finalidad de que se midan en parámetros distintos.

2.6. Determinación de la rentabilidad actual de la empresa concretera Mixto Listo y de la industria concretera en Guatemala

La rentabilidad es la capacidad de producir o generar un beneficio adicional sobre la inversión o esfuerzo realizado.

Para encontrar esa rentabilidad, se hace uso de indicadores, índices, ratios o razones de rentabilidad, de los cuales, los principales son los siguientes:

ROA: el índice de retorno sobre activos (ROA por sus siglas en inglés) mide la rentabilidad de una empresa con respecto a los activos que posee. El ROA nos da una idea de cuán eficiente es una empresa en el uso de sus activos para generar utilidades.

$$\text{ROA} = (\text{Utilidades} / \text{Activos}) \times 100$$

ROE: el índice de retorno sobre patrimonio (ROE por sus siglas en inglés) mide rentabilidad de una empresa con respecto al patrimonio que posee. El ROE nos da una idea de la capacidad de una empresa para generar utilidades con el uso del capital invertido en ella y el dinero que ha generado.

$$\text{ROE} = (\text{Utilidades} / \text{Patrimonio}) \times 100$$

Índice de rentabilidad sobre ventas: mide la rentabilidad de una empresa con respecto a las ventas que genera.

$$\text{Índice de rentabilidad sobre ventas} = (\text{Utilidades} / \text{Ventas}) \times 100$$

Para efectos de cuantificación del impacto de la metodología que se propondrá en capítulos posteriores, se medirá la rentabilidad de la empresa concretera mediante el índice de rentabilidad sobre ventas.

En función que el proyecto no tiene impacto alguno en el volumen de ventas, pero si en los costos, se determinará cual será el delta de los costos por los ahorros generados por la disminución del uso de cemento en los diseños de concreto.

Por efectos de confidencialidad y manejo responsable de la información financiera de la empresa, los datos de costos que se utilizarán para la medición de la rentabilidad serán ficticios pero, apegados a la realidad de la industria, con el fin de demostrar el impacto que la metodología generará después de su implementación.

El costo total de un año se estima de la siguiente manera:

Costo unitario: Q 810,60

Volumen producido/año: 519 600 m³

Costo total año: Q 421 187 760,00

Las ventas totales de un año se estiman de la siguiente manera:

Precio unitario: Q 962,00

Volumen producido/año: 519 600 m³

Ventas totales año: Q 499 855 200,00

Las utilidades totales de un año se estiman de la siguiente manera:

Utilidad año: Ventas totales año – Costo total año

Utilidad año: Q. 499 855 200,00 – Q. 421 187 760,00

Utilidad año: Q. 78 667 440,00

La rentabilidad medida mediante el índice de rentabilidad de ventas, se estima de la siguiente manera:

$$\text{IRV} = (\text{Q.}78\ 667\ 440,00 / \text{Q.} 499\ 855\ 200,00)*100$$

$$\text{IRV} = 15,7\%$$

3. PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN EN EL USO DE CEMENTO EN LOS CONCRETOS PREMEZCLADOS

En el tercer capítulo se presenta el análisis para determinar el potencial inicial y la metodología de reducción del cemento en los diseños de los concretos premezclados.

3.1. Optimización de los diseños de concreto

El diseño de las mezclas de concreto se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales, para que se logren las características especificadas.

Un concreto con el diseño óptimo es aquel que cumple con los requerimientos de desempeño al menor costo. Para encontrar este diseño óptimo, es necesario implementar procedimientos que generen la menor variabilidad posible en las resistencias alcanzadas en los ensayos de muestras, tanto en las de obra como en las planta, debido que la desviación de las resistencias será menor y esto permitirá diseñar concretos con menor cantidad de cemento, ya que se tendrá la certeza de que los resultados estarán controlados y que no existirán datos menores a las resistencias ofrecidas a los clientes.

El concreto representativo, producido con un diseño conservador, es decir, un diseño que contempla una cantidad de cemento alta, que garantice que aunque exista una desviación estándar alta, ningún valor quede por debajo de

la resistencia requerida, se diseña con cantidades de cemento que van entre 350 y 390 Kg de cemento.

Si después de implementar las acciones necesarias para controlar la desviación de las resistencias de los ensayos, obtenemos una reducción de al menos 15 Kg de cemento en todos los diseños, estaremos generando un ahorro anual de Q. 9,5 MM, es por ello la importancia de la implementación de este plan.

3.1.1. Criterios de la ACI (de las siglas Instituto del Concreto Americano) para el diseño por resistencia del concreto

Un diseño de mezcla que se encuentre en uso o que fue previamente utilizado se lo puede usar en un nuevo proyecto si los datos de ensayo de resistencia y las desviaciones estándares muestren que la mezcla es aceptable. Los aspectos de durabilidad anteriormente presentados también se deben satisfacer. Los datos estadísticos deben representar los mismos materiales, proporciones y condiciones de colocación para que se los pueda utilizar en el nuevo proyecto.

Los datos deben representar, por lo menos, 30 ensayos consecutivos o dos grupos de pruebas consecutivas que totalicen, por lo menos, 30 ensayos (cada prueba o ensayo es el promedio de la resistencia de dos cilindros de la misma muestra). Si están disponibles sólo de 15 a 29 pruebas consecutivas, se puede obtener una desviación estándar corregida, multiplicando la desviación estándar (S) de los 15 a 29 ensayos por el factor de corrección de la Tabla XI. Los datos deben representar, por lo menos, 45 días de pruebas.

Tabla XI. **Factor de corrección para la desviación estándar para menos de 30 ensayos**

Número de Ensayos*	Factor de corrección para la desviación estándar**
Menos de 15	
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

* Interpole para números intermediarios de ensayos.

** La desviación estándar modificada se debe usar para determinar la resistencia media requerida, f'_{cr} .

Adaptada del ACI 318.

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Mixto Listo.

La anterior tabla muestra el factor de corrección para la desviación estándar cuando contamos con una cantidad de ensayos menor a 30. Este método es ideal para los casos en donde contamos con poco tiempo para poder efectuar un grupo de mediciones. A pesar que es un sistema con una muestra relativamente pequeña, ha demostrado ser muy confiable.

La desviación estándar o modificada se usa en las ecuaciones de la siguiente imagen. El promedio de la resistencia a compresión de las pruebas registradas debe ser igual o mayor que la resistencia a compresión media requerida por el ACI 318, para que las proporciones del concreto sean aceptables. El porcentaje para proporciones de mezclas seleccionadas es igual al mayor valor obtenido por las ecuaciones, para $f'_{c} \leq 350 \text{ kg/cm}^2$ (35 MPa).

Figura 14. **Cálculo de compresión requerida**

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34S \quad \text{Ec. 9-1}$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33S - 3.45 \text{ (MPa)} \quad \text{Ec. 9-2}$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33S - 35 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \text{Ec. 9-2}$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33S - 500 \text{ (lb/pulg}^2\text{)} \quad \text{Ec. 9-2}$$

$$f'_{cr} = 0.90 f'_c + 2.335 \quad \text{Ec. 9-3}$$

Donde:

f'_{cr} = resistencia a compresión media del concreto requerida como base para la elección de las proporciones de la mezcla, MPa (kg/cm²) [lb/pulg²]

f'_c = resistencia a compresión especificada del concreto, MPa (kg/cm²) [lb/pulg²]

S = desviación estándar, MPa (kg/cm²) [lb/pulg²]

Fuente: Departamento de Control de Calidad de Mixto Listo.

3.1.1.1. Diseño de un concreto bajo criterios de ACI

Para poder explicar cómo se diseña un concreto bajo los criterios de ACI, se ejemplificará mediante un caso típico del requerimiento de un cliente, luego se seguirán todo el proceso de pruebas de laboratorio, para realizar los ajustes necesarios.

Se requiere el concreto para un pavimento que se expondrá a la humedad en un ambiente severo de congelación-deshielo. Resistencia a compresión especificada f'_c de 350 kg/cm² a los 28 días. Se requiere aire incluido. El revenimiento (asentamiento) debe ser entre 25 mm y 75 mm. Se necesita un agregado de tamaño máximo nominal de 25 mm. No hay datos estadísticos anteriores disponibles. Los materiales disponibles se describen a continuación.

El cemento es ASTM tipo GU (uso general) con masa específica relativa de 3.

Los agregados gruesos son agregados bien graduados. Grava redondeada con tamaño máximo nominal de 25 mm (ASTM C 33) con masa específica relativa seca en el horno de 2,68, absorción de 0,5% y masa volumétrica seca en el horno varillada (compactada) de 1 600 kg/m³. La muestra de laboratorio para las mezclas de prueba tenía una humedad de 2%.

El agregado fino es una arena natural (ASTM C 33) con masa específica relativa seca en el horno de 2,64, absorción de 0,7%. La muestra de laboratorio para las mezclas de prueba tenía una humedad de 6%. El módulo de finura es 2,80.

El aditivo inclusor de aire es del tipo resina de madera, con % de aire controlado (ASTM C 260).

El reductor de agua está bajo la norma ASTM C 494. Este aditivo se conoce por reducir la demanda de agua en 10%, cuando se usa una dosis de 3 g (o 3 mL) por kg de cemento. Se asume que los aditivos químicos tienen una masa específica similar al agua, lo que significa que 1 mL de aditivo tiene una masa de 1g.

A partir de esta información, la tarea es proporcionar una mezcla de prueba que cumplirá con las condiciones y especificaciones anteriormente citadas.

La resistencia de diseño de 350 kg/cm² es mayor que la resistencia requerida para la exposición a condiciones severas. Como no hay datos

estadísticos disponibles, f'_{cr} (resistencia a compresión requerida para el proporcionamiento) es igual a $f'_c + 84$ (kg/cm²), por lo tanto, $f'_{cr} = 350 + 84 = 434$ kg/cm².

En cuanto a la relación agua-cemento para un ambiente con congelación y deshielo, la relación máxima debería ser 0,45. La relación agua-cemento recomendada para la resistencia de 434 kg/cm² es 0,32. Como la relación agua-cemento más baja gobierna, la mezcla se debe diseñar para 0,32. Si hubiera existido una curva con datos de mezclas de prueba, la relación agua-cemento se podría obtener de estos datos.

El contenido de aire para la exposición severa a congelación- deshielo, se recomienda un contenido de aire de 6,0% para el agregado de 25 mm. Por lo tanto, se debe diseñar la mezcla para 5% a 8% de aire y se debe usar 8% (máximo permitido) para las proporciones de la revoltura (bachada, pastón). El contenido de aire de la mezcla de prueba debe estar entre $\pm 0,5\%$ del contenido máximo permitido.

El revenimiento especificado está entre 25 mm y 75 mm. Use 75 mm \pm 20 mm para el proporcionamiento.

El contenido de agua para un concreto de 75 mm de revenimiento, con agregado de 25 mm y aire incluido, debería de ser de 175 kg/m³. Sin embargo, la grava redondeada puede reducir el contenido de agua de la Tabla en cerca de 25 kg/m³. Por lo tanto, el contenido de agua se puede estimar en 150 kg/m³ (175 kg/m³ menos 25 kg/m³). Además, el reductor de agua reducirá la demanda de agua en cerca de 10%, resultando en una demanda de agua estimada de 135 kg/m³.

El contenido de cemento se basa en la relación agua-cemento máxima y en el contenido de agua. Por lo tanto, 135 kg/m³ de agua dividido por la relación agua-cemento de 0,32 resulta en un contenido de cemento de 422 kg/m³, que es mayor que 335 kg/m³, necesario para la resistencia a congelación.

El volumen del agregado grueso recomendado, cuando se usa una arena con módulo de finura de 2,80, es 0,67. Como el agregado pesa 1 600 kg/m³, la masa seca en el horno del agregado grueso por metro cúbico de concreto es: $1\ 600 \times 0,67 = 1\ 072$ kg.

En cuanto al contenido de aditivo para 8% de contenido de aire, el fabricante del aditivo inclusor (incorporador) de aire recomienda una dosis de 0,5 g por kg de cemento. De esta información, la cantidad de aditivo inclusor de aire por metro cúbico de concreto es: $0,5 \times 422 = 211$ g o 0,211 kg

La dosis del reductor de agua es 3 g por kg de cemento, que resulta en: $3 \times 422 = 1\ 266$ g de reductor de agua por metro cúbico de concreto.

En este punto, las cantidades de los ingredientes, a excepción del agregado fino, se conocen. En el método del volumen absoluto, el volumen del agregado fino se determina sustrayendo, de un metro cúbico, los volúmenes absolutos de los ingredientes conocidos.

El volumen absoluto del agua, cemento, aditivos y agregado grueso se calcula dividiéndose la masa conocida de cada uno de ellos por el producto de su masa específica relativa y la densidad del agua. Los cálculos del volumen son como sigue:

$$\text{Agua} = 135 / (1 \times 1\,000) = 0,135 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 422 / (3,0 \times 1\,000) = 0,141 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 8,0 / 100 = 0,080 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1\,072 / (2,68 \times 1\,000) = 0,400 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total de los ingredientes} = 0,756 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto calculado del agregado fino es

$$1 - 0,756 = 0,244 \text{ m}^3$$

La masa seca del agregado fino es:

$$0,244 \times 2,64 \times 1\,000 = 644 \text{ kg}$$

La mezcla entonces tiene las siguientes proporciones, antes de la mezcla de prueba con un metro cúbico de concreto:

Agua 135 kg

Cemento 422 kg

Agregado grueso (seco) 1 072 kg

Agregado fino (seco) 644 kg

Masa total 2 273 kg

Aditivo inclusor de aire 0,211 kg

Reductor de agua 1 266 kg

Revenimiento 75 mm

(\pm 20 mm para la mezcla de prueba)

Contenido de aire 8%

(\pm 0.5% para la mezcla de prueba)

Masa volumétrica = 2 283 kg/m³

Son necesarias correcciones para la humedad en y sobre los agregados. En la práctica, los agregados contienen una cantidad mensurable de humedad.

Las masas secas de los agregados, por lo tanto, se deben aumentar para compensar la humedad que se absorbe y que se retiene en la superficie de cada partícula y entre las partículas. El agua de mezcla que se adiciona se debe reducir por la cantidad de humedad libre de los agregados.

Los ensayos indican que, para este ejemplo, el contenido de humedad del agregado grueso es 2% y del agregado fino es 6%.

Con los contenidos de humedad (CH) indicados, las proporciones de agregados de la mezcla de prueba se vuelven:

$$\text{Agregado grueso (2\% CH)} = 1\ 072 \times 1,02 = 1\ 093 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino (6\% CH)} = 644 \times 1,06 = 683 \text{ kg}$$

El agua absorbida por los agregados no se torna parte del agua de la mezcla y se la debe excluir del ajuste de agua.

La humedad superficial aportada por el agregado grueso es $2\% - 0,5\% = 1,5\%$. La humedad aportada por el agregado fino es $6\% - 0,7\% = 5,3\%$. El requisito estimado para el agua se vuelve: 85 kg.

La masa de la mezcla estimada para un metro cúbico se revisa para incluir la humedad de los agregados:

Agua (a ser adicionada) 85 kg

Cemento 422 kg

Agregado grueso (2% de CH, húmedo) 1 093 kg

Agregado fino (6% de CH, húmedo) 683 kg

Total 2 283 kg

Aditivo inclusor de aire 0,211 kg

En la etapa de mezcla de prueba, las masas estimadas se deben verificar a través de mezclas de pruebas o mezclas con el mismo volumen de la revoltura (bachada, pastón) de obra. Se debe mezclar una cantidad suficiente de concreto para los ensayos de revenimiento (asentamiento) y aire, para el moldeo de 3 cilindros para el ensayo de resistencia a compresión a los 28 días y vigas para ensayo a flexión, si es necesario. Para la mezcla de prueba de laboratorio es conveniente la disminución del volumen para la producción de 0,1 m³ de concreto, como sigue:

Agua $85 \times 0,1 = 8,5$ kg

Cemento $422 \times 0,1 = 42,2$ kg

Agregado grueso (húmedo) $1\ 093 \times 0,1 = 109,3$ kg

Agregado fino (húmedo) $683 \times 0,1 = 68,3$ kg

Total 228,3 kg

Aditivo incluso de aire $211\text{ g} \times 0,1 = 21,1\text{ g}$ o 21,1 mL

Reductor de agua $1\ 266\text{ g} \times 0,1 = 127\text{ g}$ o 127 mL

Este concreto, cuando se mezcló, presentó un revenimiento (asentamiento) de 100 mm, contenido de aire de 9% y masa volumétrica de 2 274 kg/m³. Durante el mezclado, parte del agua medida puede no ser usada, o agua adicional puede ser necesaria para que se logre el revenimiento requerido. En este ejemplo, a pesar de que se calculó 8,5 kg de agua, la mezcla de prueba utilizó realmente sólo 8,0 kg. Por lo tanto, la mezcla, excluyéndose los aditivos, se vuelve:

Agua 8,0 kg

Cemento 42,2 kg

Agregado grueso (húmedo) 109,3 kg

Agregado fino (húmedo) 68,3 kg

Total 227,8 kg

El rendimiento de la mezcla de prueba es $227,8 \text{ kg} / 274 \text{ kg/m}^3 = 0,10018 \text{ m}^3$.

El contenido de agua de mezcla se determina por el agua adicionada más el agua libre en los agregados y se calcula como sigue:

Agua adicionada 8,0 kg

Agua libre en el agregado grueso = $(109,3 / 1,02) \times 0,015 = 1,61 \text{ kg}$

Agua libre en el agregado fino = $(68,3 / 1,06) \times 0,053 = 3,42 \text{ kg}$

Total de agua 13,03 kg

El agua de mezcla necesaria para un metro cúbico del concreto de mismo revenimiento de la mezcla de prueba es:

$12,97 / 0,10026 = 130 \text{ kg}$

El revenimiento (asentamiento) de 100 mm de la mezcla de prueba no es aceptable (mayor que $75 \pm 20 \text{ mm}$ máximo), el rendimiento fue un poco elevado y el contenido de aire incluido (incorporado) de 9% también se presentó un poco alto (más de 0,5% que el máximo de 8.5%). Se debe ajustar el rendimiento y reestimar la dosis de aditivo inclusor de aire para el contenido de 8% y también ajustar el agua para el revenimiento de 75 mm. Se debe aumentar el contenido de agua de mezcla en 3 kg/m^3 para cada 1% de disminución de aire y reducir 2 kg/m^3 para cada 10 mm de reducción del revenimiento.

El agua de mezcla ajustada para la reducción del revenimiento y del aire es: $(3 \text{ kg de agua} \times 1\% \text{ de diferencia en el aire}) - (2 \text{ kg de agua} \times 25/10 \text{ para el cambio de revenimiento}) + 130 = 128 \text{ kg de agua}$.

Como se necesita menos agua de mezcla, también el contenido de cemento se disminuye para que se mantenga la relación agua-cemento deseada de 0,31. El nuevo contenido de cemento es:

$$128/0,31 = 413 \text{ kg}$$

La cantidad de agregado grueso permanece igual, pues la trabajabilidad es satisfactoria. Las masas de la nueva mezcla ajustada, basadas en los nuevos contenidos de cemento y agua se calculan como sigue:

$$\text{Agua} = 128/(1 \times 1\ 000) = 0,128 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 413/(3,0 \times 1\ 000) = 0,138 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1072/(2,68 \times 1000) = 0,400 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 8/100 = 0,080 \text{ m}^3$$

$$\text{Total } 0,746 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 1 - 0,746 = 0,254 \text{ m}^3$$

La masa necesaria de agregado fino seco es: $0,256 \times 2,64 \times 1\ 000 = 671$ kg.

El aditivo inclusor de aire (el fabricante sugiere la reducción de 0,1 g para la disminución de 1%) = $0,4 \times 413 = 165$ g o mL

$$\text{Reductor de agua} = 3,0 \times 413 = 1\ 239 \text{ g o mL}$$

Las masas de la mezcla ajustada por metro cúbico de concreto son:

Agua 128 kg

Cemento 413 kg

Agregado grueso (seco) 1 072 kg

Agregado fino (seco) 671 kg

Total 2 284 kg

Aditivo inclusor de aire 165 g o mL

Reductor de agua 1 239 g o mL

Masa volumétrica estimada = $128 + 413 + (1\ 072 \times 1,005) + (671 \times 1,007)$
= 2 294 kg/m³.

Después de verificar las proporciones ajustadas a través de una mezcla de prueba, se ha observado que el concreto presentó revenimiento (asentamiento), contenido de aire y rendimiento deseados. Los cilindros tuvieron un promedio de resistencia a compresión a los 28 días de 489 kg/cm² o 48 MPa, que supera el $f'c$ de 444 kg/cm² o 43,5 MPa.

3.2. Oportunidades de eficiencia en el proceso del control de la calidad actual

Para poder determinar las oportunidades de eficiencia en el proceso de control de calidad actual, se hicieron una serie de pruebas y análisis a los procedimientos y a los resultados derivados del mismo, estas pruebas se realizaron en varias plantas y obras, buscando tener la mayor variación de condiciones posibles. La descripción de estas pruebas y análisis estadístico, se detalla a lo largo del siguiente capítulo.

3.2.1. Inspección en planta

En el proceso de inspección de concretos en planta interviene un laboratorista de planta, el cual es el encargado de realizar los muestreos, según el Plan de Muestreos definido por el Departamento de Control de Calidad.

En la actualidad existen más de 20 laboratoristas de planta que rotan en todas las sedes para realizar este procedimiento, por lo cual el análisis que se realizó en esta área fue medir la variabilidad de los resultados en función del ejecutor de este proceso. Para ello, el estudio se hizo en la misma planta y con

los mismos materiales, para eliminar la posibilidad que la variación provenga de otra fuente.

Los resultados del estudio, se presentan en la tabla XII, los cuales muestran que existe una desviación de los resultados de las resistencias, en función de la persona ejecutora, y más aún en función de su nivel de desempeño, según las pruebas anuales realizadas por el Departamento de Control de Calidad, en donde se pretende analizar el grado de apego a las normas y procesos, en la ejecución de las normas.

Tabla XII. **Desviación estándar del concreto en muestras elaboradas en plantas**

Planta de Muestra	Laboratorista de Planta	Certificación ACI Grado 1	Calificación anual de cumplimiento de procedimientos según norma	f_c	Resistencia Promedio	Desviación estándar (S)
A	1	Sí	8.9	3,000 psi	3,354 psi	142 psi
A	2	Sí	9.4	3,000 psi	3,414 psi	135 psi
A	3	Sí	9.1	3,000 psi	3,141 psi	178 psi
A	4	No	7.4	3,000 psi	3,242 psi	366 psi
A	5	No	8.2	3,000 psi	324 psi	247 psi

Fuente: elaboración propia.

La recomendación derivada de este análisis es trabajar más fuerte en el cumplimiento de los procedimientos de nuestros según el código ACI, mediante entrenamientos y refuerzo de supervisión a los procesos.

3.2.2. Ensayo de muestras hechas en planta

El proceso de ensayo de muestras hechas en planta, contiene los procedimientos que van desde el momento justo en que se finaliza la

elaboración de los cilindros, que es parte del proceso de muestreo, hasta la toma de captura de los datos de la máquina de compresión.

Entre las variables principales a tomar en consideración para evitar el aumento de variación en los resultados, derivados de este proceso están:

- Correcta ubicación en planta para dejar las muestras, lejos de vibraciones y de paso peatonal.
- Superficie nivelada, protegidas contra el sol y la lluvia para evitar evaporación y daño superficial.
- Proceso de curado en pilas especiales a temperatura controlada y en ubicación que limite el acceso a expertos con autorización.
- Correcta calibración de la máquina, contando con un certificado vigente que ampare el estatus.

Los resultados del estudio, se presentan en la tabla XIII, los cuales muestran que no existe una desviación de los resultados de las resistencias, en función a este proceso, debido a que no se encuentra una variación determinante entre los resultados con supervisión al 100% del procedimiento, versus los resultados obtenidos con los procesos cotidianos, los cuales regularmente no tienen una supervisión permanente del proceso, dejando que este rol lo ejecute el operador de planta.

Tabla XIII. **Desviación estándar del concreto en planta con procesos supervisados y no supervisados**

Planta de Muestra	Laboralista de Planta	Certificación ACI Grado 1	Calificación anual de cumplimiento de procedimientos según norma	Condiciones del proceso	f'_c	Resistencia Promedio	Desviación estándar (S)
A	1	Sí	9.4	Supervisadas	3,000 psi	3,454 psi	211 psi
A	1	Sí	9.4	Supervisadas	3,000 psi	3,515 psi	158 psi
A	1	Sí	9.4	Supervisadas	3,000 psi	3,418 psi	198 psi
A	1	Sí	9.4	No Supervisadas	3,000 psi	3,254 psi	148 psi
A	1	Sí	9.4	No Supervisadas	3,000 psi	3,544 psi	168 psi
A	1	Sí	9.4	No Supervisadas	3,000 psi	3,511 psi	174 psi

Fuente: elaboración propia.

La recomendación derivada de este análisis es no implementar ninguna acción al proceso, debido a que es un proceso controlado que no incide en la variabilidad de las resistencias.

3.2.3. Inspección en obra

En el proceso de inspección de concretos en obra, interviene un laboralista de obra, el cual es el encargado de realizar los muestreos, según el Plan de Muestreos definido por el Departamento de Control de Calidad.

En la actualidad existen más de 35 laboralistas de planta que rotan en todas los proyectos para realizar este procedimiento, por lo cual el análisis que se realizó en esta área fue medir la variabilidad de los resultados en función del ejecutor de este proceso. Para ello, el estudio se hizo cargando los concretos de la misma planta y con los mismos materiales, para eliminar la posibilidad que la variación provenga de otra fuente. Además de esto, se supervisó al 100% el proceso de transporte del producto a obra.

Los resultados del estudio, se presentan en la tabla XIV, los cuales muestran que existe una desviación de los resultados de las resistencias, en función de la persona ejecutora, y más aún en función de su nivel de desempeño, según las pruebas anuales realizadas por el Departamento de Control de Calidad, en donde se pretende analizar el grado de apego a las normas y procesos, en la ejecución de las normas.

Tabla XIV. **Desviación estándar del concreto en muestras elaboradas en obras**

Planta de Muestra	Laboratorista de Obra	Certificación ACI Grado 1	Calificación anual de cumplimiento de procedimientos según norma	f'_c	Resistencia Promedio	Desviación estándar (S)
A	1	Sí	9.3	3,000 psi	3,487 psi	131 psi
A	2	Sí	9.1	3,000 psi	3,455 psi	147 psi
A	3	Sí	8.9	3,000 psi	3,678 psi	121 psi
A	4	Sí	9.5	3,000 psi	3,114 psi	214 psi
A	5	No	7.1	3,000 psi	3,245 psi	348 psi

Fuente: elaboración propia.

La recomendación derivada de este análisis es trabajar más fuerte en el cumplimiento de los procedimientos de nuestros según el código ACI, mediante entrenamientos y refuerzo de supervisión a los procesos.

3.2.4. Ensayo de muestras en obra

El proceso de ensayo de muestras hechas en obra, contiene los procedimientos que van desde el momento justo en que se finaliza la elaboración de los cilindros en la obra, que es parte del proceso de muestreo, hasta la toma de captura de los datos de la máquina de compresión.

Entre las variables principales a tomar en consideración para evitar el aumento de variación en los resultados, derivados de este proceso, están:

- Correcta ubicación en obra para dejar las muestras, lejos de vibraciones y de paso peatonal.
- Superficie nivelada, protegidas contra el sol y la lluvia para evitar una pérdida de humedad o daño superficial.
- Cumplimiento del tiempo estipulado máximo para recoger y trasladar las muestras de las obras hacia los laboratorios.
- Proceso de curado en pilas especiales a temperatura controlada y en ubicación que limite el acceso a expertos con autorización.
- Correcta calibración de la máquina, contando con un certificado vigente que ampare el estatus.

Los resultados del estudio, se presentan en la tabla XV, los cuales muestran que si existe una desviación de los resultados de las resistencias en función a este proceso, esto debido a que se encuentra una variación determinante entre los resultados con supervisión al 100% del procedimiento, versus los resultados obtenidos con los procesos cotidianos.

La diferencia entre los resultados obtenidos en el proceso de ensayos de muestras hechas en planta, versus estos, radica en que las condiciones inadecuadas en obras para almacenar los cilindros y un transporte tardío e inadecuado de los cilindros hacia las plantas, son un factor adicional que no se tiene en el proceso de planta.

Tabla XV. **Desviación estándar del concreto en obra con procesos supervisados y no supervisados**

Planta de Muestra	Laboralista de Obra	Certificación ACI Grado 1	Calificación anual de cumplimiento de procedimientos según norma	Condiciones del proceso	f _c	Resistencia Promedio	Desviación estándar (S)
A	1	Sí	8.7	Supervisadas	3,000 psi	3,541 psi	241 psi
A	1	Sí	8.7	Supervisadas	3,000 psi	3,214 psi	174 psi
A	1	Sí	8.7	Supervisadas	3,000 psi	3,554 psi	198 psi
A	1	Sí	8.7	No Supervisadas	3,000 psi	3,872 psi	287 psi
A	1	Sí	8.7	No Supervisadas	3,000 psi	3,114 psi	578 psi
A	1	Sí	8.7	No Supervisadas	3,000 psi	3,024 psi	498 psi

Fuente: elaboración propia.

La recomendación derivada de este análisis es trabajar las condiciones de almacenaje y transporte de los cilindros según el código ACI, para ello habrá que hacer mediciones futuras que muestren los procedimientos más impactantes en el resultado para priorizar los esfuerzos.

3.2.5. Control estadístico

Se analizó el proceso estadístico diseñado y ejecutado por el Departamento de Control de Calidad, no encontrando ninguna variación o incumplimiento a las normas vigentes según el Código ACI, por lo que se descarta que este proceso genere variación de los resultados.

3.3. Oportunidades de eficiencia en el proceso de producción

Para poder determinar las oportunidades de eficiencia en el proceso de producción actual, se hicieron una serie de pruebas y análisis a los procedimientos y a los resultados derivados del mismo, estas pruebas se realizaron en varias plantas y dándole seguimiento al proceso de transporte por

varias unidades, buscando tener la mayor variación de condiciones posibles. La descripción de estas pruebas y análisis estadístico, se detalla a lo largo del siguiente capítulo.

3.3.1. Dosificación en planta

El proceso de dosificación en planta es uno de los procesos que en primera instancia tiene el mayor potencial a ser fuente de variabilidad de las resistencias de concreto. Entre los procesos de que se analizaron van desde la selección de la materia prima y el cumplimiento de características y estándares de desempeño, hasta el proceso de mezclado antes de iniciar el transporte de concreto a la obra.

3.3.1.1. Uso eficiente de materia prima en planta

Para minimizar la variabilidad de las resistencias en los concretos, es importante hacer una correcta selección de materiales y hacer uso eficiente de la información derivada de los análisis previos de cada material.

El Departamento de Control de Calidad exige a sus proveedores controles estadísticos de todas las características de los materiales utilizados en el proceso de fabricación de los concreto. Adicional, personal técnico de la empresa, realiza pruebas en los bancos de almacenaje de las plantas para auditar los resultados presentados por los proveedores.

Para cada material, existe una serie de tolerancias máximas, que determinan la aceptación o rechazo de los lotes enviados.

En función de lo anterior, se descarta que la materia prima sea una fuente de variabilidad a los resultados de las resistencias de los concretos, es por ello que no se recomienda ningún cambio estos controles.

3.3.1.2. Muestreo de humedades de materia prima

El proceso de muestreo de humedades de la materia prima, se aplica únicamente para los agregados, tanto finos como gruesos. El objetivo de este procedimiento es determinar la cantidad de agua que contienen los agregados que se están utilizando para que esta sea descontada en la dosificación del agua, el no calcular con exactitud ese excedente de agua que contienen los agregados, da como resultado una variación en la relación agua-cemento, y por ello un resultado por arriba o por debajo de la resistencia esperada, según el diseño inicial definido.

En la actualidad, se tiene un proceso esquematizado de muestreos de humedades, en donde se definen la cantidad de muestras por día de producción y estas se entregan al operador para que ingrese los valores en el sistema de carga, y este haga las correcciones automáticas de las cargas según los parámetros previamente ingresados.

Para determinar las oportunidades de mejora en este proceso, se analizó por un período de 5 días continuos las actividades realizadas por el laboratorista de planta, en conjunto con el operador de planta, los resultados se presentan a continuación:

Tabla XVI. **Medición inicial en cumplimiento de procedimientos estándar en muestreos en humedades de agregados**

Día	No. De muestro del día	El Laboratorista efectua el Procedimiento según norma	El laboratista llena la boleta de muestreo y entrega a Operador	El operador digita los datos en el sistema
1	1	Sí	Sí	Sí
1	2	Sí	No	No
2	1	No	No	No
2	2	No	No	No
2	3	No	No	No
3	1	Sí	Sí	Sí
4	1	Sí	Sí	Sí
5	1	No	No	No
5	2	No	No	No
	X=2	44%	33%	33%

Fuente: elaboración propia.

Por lo anterior se puede determinar que no se tiene un control efectivo al proceso de muestro de humedades, ya que en promedio se están haciendo 2 muestreos diarios, uno por debajo de lo establecido. Adicional se encontró que aunque el procedimiento se haga, no se hace de la manera correcta en un 33% de los casos, haciendo que se ingresen datos no correctos al sistema de dosificación automática de carga. Este es uno de los procesos que se debe de restablecer.

3.3.1.3. Proceso de carga

Para determinar oportunidades de mejora en el proceso específico de dosificación de materiales a los camiones mezcladores, se evaluaron las

condiciones bajo las que se efectúa el proceso automatizado de carga, entre los hallazgos y conclusiones presentaremos los más importantes.

El primer hallazgo, el cual se detalló a profundidad en el punto anterior es que no se cuenta con un proceso confiable para hacer el *input* de la data de humedades de agregados al sistema Command Batch.

El segundo hallazgo importante es que se efectúan certificaciones de todas las balanzas de manera trimestral por un contratista, la cual calibra, comprueba y certifica la calibración de los equipos. El rango de variación supera en el 45% de los casos los rangos permisibles, los cuales son del 1% para la balanza de agua y cemento y del 2% para aditivos y agregados. La principal hipótesis que se plantea respecto a esta variabilidad es la baja frecuencia con que se realizan las calibraciones, aunque no existe una norma que indique la frecuencia con que se deben de hacer estas calibraciones, la teoría indica que a mayor frecuencia de calibración, menor será la variabilidad generada.

3.3.1.4. Mezclado del concreto

La ASTM C 94 resalta que cuando se usa un camión mezclador para el mezclado completo, normalmente se requieren de 70 a 100 revoluciones del tambor y de las palas en la tasa de rotación designada por el fabricante como velocidad de mezclado para producir un concreto con la uniformidad deseada. Después de 100 revoluciones, éstas deben ser a una tasa de rotación designada por el fabricante como velocidad de agitación. La velocidad de agitación es normalmente de 2 a 6 rpm y la velocidad de mezclado de 6 a 18 rpm. El mezclado con velocidades elevadas por periodos prolongados, cerca de más de 1 hora, puede resultar en pérdida de resistencia, aumento de la

temperatura, pérdida excesiva del aire incluido (incorporado) y pérdida acelerada de revenimiento (asentamiento) del concreto.

Para evaluar el procedimiento de mezclado de concreto se tomaron muestras de los tiempos de mezclado antes de salir de planta y la forma en que se evaluaba el revenimiento del concreto. Para hacer más consistente esta proba, se tomaron 3 muestras por cada uno de los días en que se hizo la inspección del procedimiento de muestreo de humedades explicadas en el capítulo 3.3.1.2 Los datos encontrados son los siguientes:

Tabla XVII. **Relación entre tiempos de mezclado con ajustes de agua en la mezcla**

Día	Tiempo de mezclado	Ajuste manual de agua	Ingreso correcto de humedades al sistema
1	03:22	No	No
1	04:21	No	No
1	04:35	Sí	Sí
2	05:20	Sí	Sí
2	04:58	Sí	Sí
2	04:40	Sí	Sí
3	05:01	No	No
3	04:48	No	No
3	04:50	Sí	Sí
4	04:57	Sí	Sí
4	05:25	Sí	Sí
4	04:44	No	No
5	05:12	Sí	Sí
5	05:06	Sí	Sí
5	04:55	Sí	Sí

Fuente: elaboración propia.

Según la Norma ASTM C 94 el tiempo de mezclado de concreto en un camión revolvedor debe de ser de 1 min por una carga de 3 m³, y se deben de agregar 30 segundos por cada metro cúbico adicional. Según el tamaño de carga, el tiempo de mezclado de cada camión fue el correcto, sin embargo en el 66% de los casos fue necesario agregarle agua adicional al concreto, encontrando que para esta mala práctica existe una correlación directa con la incorrecta aplicación del procedimiento de muestreo de agregados.

En función de lo anterior, se refuerza nuevamente la importancia de hacer ajustes en el proceso de muestreo de agregados.

3.3.2. Transporte de concreto

Todos los concretos sin excepción alguna, llevan incluido una dosis de aditivo retardante de fraguado. Para los casos en donde el tiempo desde que el concreto fue dosificado en el camión hasta que fue colocado en el elemento supera las 2 horas, es necesario aplicar una dosis extra de aditivo retardante de fraguado, con el fin de garantizar la calidad y el *slump* adecuado para la colocación del concreto en obra.

El proceso de despacho de Mixto Listo cuenta con un sistema avanzado que permite simular los tiempos de carga, mezcla, transporte a obra, espera y colocación, para optimizar el uso de los camiones y a la vez definir con mayor precisión el uso de los aditivos.

Para evaluar este proceso, se tomaron muestras por cinco días continuos, evaluando el tiempo real de viaje comparándolo contra el tiempo proyectado definido en el sistema, se definió una tolerancia de +/- 10% y estos fueron los resultados:

Tabla XVIII. **Relación entre despachos con errores en tiempo estimado de viaje con despachos con dosis incorrecta de aditivos**

Día	No de viajes	No de viajes con variación > del 15% respecto al tiempo programado de viaje	% de Viajes fuera de rango permisible	N de viajes dosis incorrecta de aditivo en función al tiempo de viaje	% de viajes con dosis incorrecta de aditivo
1	348	41	12%	38	11%
2	298	36	12%	30	10%
3	301	25	8%	14	5%
4	298	12	4%	4	1%
5	274	34	12%	21	8%

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Ajustes a concretos en obra

El último de los factores en el proceso de producción de concreto que puede afectar en la variabilidad de sus resistencias es el manejo del concreto por parte de las empresas de colocación ya sean contratistas de Mixto Listo o colocadores contratados directamente por los clientes.

Para maximizar la durabilidad de los concretos es recomendable realizar la colocación del mismo en el menor revenimiento posible, y es así como se diseñan y entregan los concretos, en función de la asesoría dada por la empresa y en consenso con los clientes. En contra parte, las personas que realizan la colocación de concreto prefieren hacerlo con el mayor revenimiento posible, esto debido a que se consiguen concretos más fáciles de manejar, requiriendo un menor esfuerzo, por lo que es común en obras, observar la práctica que agregarle agua adicional a los concretos para hacer más fácil la colocación.

Para poder soportar la hipótesis anterior, se realizó una muestra en las obras, documentando la forma en que se manejó el concreto en las obras y correlacionándola con su resistencia, a continuación se presentan los resultados.

Tabla XIX. **Efectos del incumplimiento de *slump* en obra a la resistencia del concreto al ajustar la mezcla en obra**

Carga	Elemento a fundir	Slump en Obra según diseño	Slump real en Obra	Ajuste de concreto en Obra	f'c	fc
1	Losa plana	5"±1"	4"	No	3000	3895
2	Losa plana	5"±1"	4 1/2"	No	3000	3958
3	Losa inclinada	3"±1"	3 1/2"	Sí	3000	3214
4	Losa plana	5"±1"	4"	No	3000	3778
5	Muro	8"±1"	5"	Sí	3000	3174
6	Losa plana	5"±1"	3 1/2"	Sí	3000	3325
7	Losa inclinada	3"±1"	1"	Sí	3000	3242
8	Muro	8"±1"	8 1/2"	No	3000	3699
9	Columnas	8"±1"	6"	Sí	3000	3258
10	Losa plana	5"±1"	2 1/2"	Sí	3000	3115
						X= 3465
						X No= 3832
						X Sí= 3221

Fuente: elaboración propia.

En base al cuadro anterior se aprecia un comportamiento similar en los concretos que no se ajustaron en obra, con una media de 3 832 psi. En el caso de los concretos que fueron modificados, presentan un descenso significativo en el promedio de resistencias, llegando a 3 221 psi, por lo cual podremos concluir que la aplicación de agua al concreto en obras tiene un impacto considerable en la variabilidad y costos de los concretos.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

Luego de haber clarificado cuales son las oportunidades de mejora, el siguiente paso es trabajar en la optimización de todos los procedimientos que por alguna u otra razón se han determinado inefectivos y con un alto porcentaje de incidencia en la variabilidad de las resistencias de los concretos.

Entre los procesos en los que se implementaron cambios para lograr que fueran efectivos y estables están los que se relacionan al manejo del muestreo de las humedades en planta, ya que controlando esto se logra evitar la adición no controlada de agua a la mezcla.

Otra de las oportunidades de mejora es la relacionada al sistema que garantiza el correcto funcionamiento de las balanzas que se utilizan para dosificar el concreto a los camiones, buscando tener certeza en el cumplimiento de los diseños de mezcla definidos en el laboratorio.

El tercer gran grupo de mejoras implementadas tiene relación con la concientización de todas las personas que pueden tomar decisiones directa o indirectamente con las modificaciones al concreto, entre ellas, laboratoristas y operadores de planta, pilotos de camión mezclador, ejecutivos de venta y personal contratado por los clientes.

Por último se contempló una serie de controles a los procesos de control de calidad, con el fin de garantizar que se utilicen equipos normados y de buen funcionamiento para que esta no sea una fuente de variación en los resultados.

4.1. Controles en materia prima

Como se expuso anteriormente, los procesos utilizados por el Departamento de Control de Calidad para la elección de la materia prima a utilizar así como los procesos para garantizar que cada material cumpla con los rangos de desempeño esperados según las normas y los diseños establecidos, son considerados correctos y efectivos, contribuyendo de gran manera para que se logre una estabilidad en las resistencias de los concretos, el único proceso que requiere ajustes relacionado a las materias primas, es el del control de las humedades de los agregados finos y gruesos antes de cargarlos y dosificarlos pro las plantas.

4.1.1. Control de humedades

El nuevo proceso de control, relacionado al manejo de nuestro de humedades se presenta a continuación.

- Se debe de obtener una muestra de agregado respecto a la práctica NTG-41009.
- A continuación se debe de determinar la masa de la muestra a ensayar, aproximándola al 0,1% más cercano.
- Secar completamente la muestra del ensayo en el recipiente mediante la fuente de calor seleccionada, evitando que se generen pérdidas de partículas. Un calentamiento muy rápido puede provocar que algunas partículas exploten, resultado en la pérdida de las mismas. Usar un horno de temperatura controlada.

- Calcular el contenido de humedad total, dejando constancia del procedimiento efectuado.
- Los datos obtenidos deben de ser anotados en el cuadro de control que se muestra a continuación.

Figura 15. **Control propuesto para gestión de humedades de agregados**

Laboratorista: _____	Hora inicio Producción: _____
Planta: _____	Hora fin Producción: _____
Fecha: _____	
Muestreo no. 1	
Hora: _____	
Tipo Agregado 1: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 2: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 3: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 4: _____	% de Humedad: _____
Muestreo no. 1	
Hora: _____	
Tipo Agregado 1: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 2: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 3: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 4: _____	% de Humedad: _____
Muestreo no. 1	
Hora: _____	
Tipo Agregado 1: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 2: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 3: _____	% de Humedad: _____
Tipo Agregado 4: _____	% de Humedad: _____
Firma Laboratorista Planta: _____	
Firma Operador de Planta: _____	
Firma Supervisor de Planta: _____	

Fuente: elaboración propia.

Consideraciones especiales del procedimiento general:

- En cuanto a equipo se debe de contar con una balanza o báscula, una fuente de calor, la cual puede ser un horno ventilado, un recipiente para colocar la muestra y un agitador. Las características de los equipos mencionados, se detallaran en el último capítulo.
- Se debe de realizar un muestro antes de iniciar la producción y luego realizarlos con intervalos de 2 horas.
- Si existe algún cambio considerable en las condiciones climáticas, como por ejemplo lluvia, se debe de realizar un muestro inmediato.
- El supervisor de planta debe de supervisar de manera diaria las boletas de muestro de humedades diarias y compararlas contra los datos ingresados por el operador de planta en Command Batch.

4.2. Plan de mantenimiento de plantas

El Plan de Mantenimiento de Plantas debe migrar de un proceso simple de verificación trimestral de las balanzas a uno mucho más robusto y de ciclos cortos, la propuesta consta de tres componentes, el primero realizado por el personal responsable de operar las plantas, el segundo realizado por personal del Departamento de Mantenimiento de Plantas y el tercero por una empresa contratista.

El objetivo principal de este plan es establecer y asegurar las condiciones de exactitud y disponibilidad de todas las balanzas y medidores de flujo de las diferentes plantas de producción.

Este procedimiento es aplicable a todos los equipos medidores de agregados, cementos, aditivos, agua y demás dispositivos que tengan que ver con la buena calidad del producto.

A continuación se describe el proceso para realizar el mantenimiento a las balanzas de los componentes de concreto, este es aplicable para cada uno de los tres componentes del plan.

Para la balanza de agregados el procedimiento es el siguiente:

- Revisión ocular general de todos los componentes de la balanza tales como celdas de carga, cajas de unión, cableado, brazos, cuchillas y dados.
- Bajar cables y colocar tablonces en donde se depositarán los pesos conocidos para su comprobación.
- Poner en cero los indicadores de la balanza tanto en estación manual EZ como en la pantalla del monitor de carga automático. El zero se realiza en el botón de la estación manual EZ con rotulación *agg zero*.
- Colocar 500 kilogramos de peso conocido en la balanza de agregados y revisar en la estación manual que el peso colocado en balanza coincida con el registro de peso en la estación manual y la pantalla de carga automática (monitor).
- Bajar los 500 kilogramos de peso conocido de la balanza y pesar 4 000 kilogramos de piedra de $\frac{3}{4}$, luego volver a colocar los pesos conocidos

en la balanza y comprobar en la estación manual y pantalla de carga automática que estos valores coincidan nuevamente.

- Bajar los pesos conocidos y descargar el material de balanza y comprobar que vuelva a quedar en cero.

Para la balanza de cemento el procedimiento es el siguiente:

- Revisión ocular general de todos los componentes de la balanza tales como celdas de carga, cajas de unión, cableado, brazos, cuchillas y dados.
- Bajar cadenas y colocar tablonés en donde se depositarán los pesos conocidos para su comprobación.
- Poner en cero los indicadores de la balanza tanto en estación manual EZ como en la pantalla del monitor de carga automático. El zero se realiza en el botón de la estación manual EZ con rotulación cem zero.
- Colocar 500 kilogramos de peso conocido en la balanza de cemento y revisar que el peso colocado en balanza coincida con el registro de peso en la estación manual y la pantalla de carga automática (monitor).
- Bajar los 500 kilogramos de peso conocido de la balanza y comprobar que la balanza vuelva a quedar en cero nuevamente.

Para la balanza del agua el procedimiento de mantenimiento es el que se describe a continuación:

- Revisión ocular general de todos los componentes de la balanza tales como celdas de carga, cajas de unión, cableado, brazos, cuchillas y dados.
- Bajar cadenas y colocar tablonés en donde se depositarán los pesos conocidos para su comprobación.
- Poner en cero los indicadores de la balanza tanto en estación manual EZ como en la pantalla del monitor de carga automático. El zero se realiza en el botón de la estación manual EZ con rotulación water zero.
- Colocar 500 kilogramos de peso conocido en la balanza de agua y revisar que el peso colocado en balanza coincida con el registro de peso en la estación manual y la pantalla de carga automática (monitor).
- Bajar los 500 kilogramos de peso conocido de la balanza y comprobar que la balanza vuelva a quedar en cero nuevamente.

Para el flujómetro medidor de agua el procedimiento de mantenimiento es el siguiente:

- Revisión ocular general de todos los componentes del sistema tales como válvulas cheque, tuberías o mangueras de succión, bomba de agua, flujómetro, tuberías o mangueras de levante a camión o balanza.
- Medir 100 litros de agua de manera manual y automática en el sistema Command en un tonel y luego pesar en una balanza de agua tomando en cuenta que 1 litro de agua es igual a 1 kilogramo de peso y comprobar

que coincidan los resultados. La balanza debe estar precalibrada y aprobada por control de calidad de la organización.

- Realizar esta comprobación por lo menos 5 veces con diferentes medidas para monitorear distintos pesos y establecer el grado de exactitud y/o error que hubiera en la balanza. Si las comprobaciones se realizaran de manera automática no hay necesidad de resetear los indicadores en la estación manual y en el monitor, Si las comprobaciones se realizan de manera manual se deben resetear los indicadores del peso o la medida en el botón de la estación manual en la lado superior derecho con la rotulación *RESET CONTROLS*.

Para el flujómetro medidor de agua el procedimiento de mantenimiento es el siguiente:

- Revisión ocular general de todos los componentes del sistema tales como válvulas cheque, tuberías o mangueras de succión, bomba de vacío, flujómetro, tuberías o mangueras de levante a camión o balanza.
- Realizar mediciones de 2 000 a 5 000 mililitros con gradiente de 1 000 ml de aditivo de manera manual y automática en el sistema Command en diferentes recipientes para luego hacer la comprobación por medio de una probeta y comprobar que coincidan los resultados.
- Realizar esta comprobación por lo menos 5 veces con diferentes medidas para monitorear distintos pesos y establecer el grado de exactitud y/o error que hubiera en la balanza. Si las comprobaciones se realizaran de manera automática no hay necesidad de resetear los indicadores en la estación manual y en el monitor, Si las comprobaciones

se realizan de manera manual se deben resetear los indicadores del peso o la medida en el botón de la estación manual en la lado superior derecho con la rotulación *RESET CONTROLS*.

4.2.1. Inspección de componentes

La inspección general de componentes se realizará con frecuencia semanal y está a cargo del operador de planta con el apoyo de todo el personal de producción: laboratorista de planta, ayudante de planta y tractorista. El procedimiento debe de quedar documentado en el formato de inspección, verificación y certificación de balanzas de planta de concreto.

4.2.2. Verificación de balanzas en plantas

La verificación de balanzas se realizará con frecuencia mensual y está a cargo del Departamento de Mantenimiento de Plantas de la empresa con el apoyo de todo el personal de producción: operador de planta, laboratorista de planta, ayudante de planta y tractorista. El procedimiento debe de quedar documentado en el formato de inspección, verificación y certificación de balanzas de planta de concreto.

4.2.3. Certificación de balanzas en planta

La certificación de balanzas se realizará con frecuencia trimestral y está a cargo de una empresa contratista definida por el Departamento de Mantenimiento de Plantas. El procedimiento debe de quedar documentado en el formato de inspección, verificación y certificación de balanzas de planta de concreto. Adicional, se debe de dejar una copia del certificado de calibración en la cabina de mandos de la planta para su posterior auditoría.

4.2.4. Formatos de control

El documento único en el cual se registrarán todas las inspecciones realizadas por el personal de planta, las verificaciones realizadas por el personal de mantenimiento y las calibraciones y certificaciones realizadas por la empresa contratista deben de quedar registradas en el formato de control presentado a continuación. Para el control y documentación, se debe de almacenar en la cabina de control de la planta un formato lleno por cada procedimiento realizado a cada componente. Este procedimiento quedará sujeto a auditoría.

Figura 16. **Control propuesto para la inspección, verificación y certificación de balanzas en plantas dosificadoras de concreto**

Inspección, verificación y certificación de balanzas de Planta de Concreto

Planta: _____
 Balanza: _____
 Operador: _____
 Fecha: _____
 Hora inicio: _____
 Hora fin: _____

No.	Prueba Ascendente			Prueba Descendente		
	Peso Conocido (Kg)	Peso de lectura (Kg)	% Desv	Peso Conocido (Kg)	Peso de lectura (Kg)	% Desv
1	0			650		
2	100			600		
3	200			500		
4	300			400		
5	400			300		
6	500			200		
7	600			100		
8	650			0		

Observaciones: _____

Fuente: elaboración propia.

4.3. Plan anual de capacitaciones

Un factor importante que garantizará el éxito sostenido del control de la variabilidad de las resistencias del concreto, será la capacitación y concientización para todas las personas que tienen contacto directo o indirecto con el concreto despachado a las obras.

Después de entender las principales debilidades en el proceso se han definido una serie de módulos de capacitación que aplican para varios todos los objetivo, estos serán los cursos de carácter general. Posterior a la aprobación del módulo general, se deben de tomar cursos específicos en función de la posición o grupo perteneciente.

Un factor importante para garantizar la correcta asimilación de los conceptos y del conocimiento requerido del plan, es la medición del dominio de los temas, posterior a haber cursado el plan específico. La medición de los conocimientos deberá de ser hecha en forma teórica y práctica, cuando el módulo lo permita.

Resultará muy beneficioso hacer que la aprobación de los módulos sea requisito indispensable para poder ejercer el puesto para cada colaborador, con esto se asegura que todos los colaboradores involucrados estén claros en los nuevos procesos de su posición.

El diseño y la implementación del plan será responsabilidad del gerente del Departamento de Control de Calidad. A continuación se presenta el módulo general de cursos, el cual tiene una duración total de 40 horas.

Tabla XX. **Propuesta de plan de capacitaciones módulo general**

Código	Curso	Tipo	Duración (horas)
G-001	Impactos positivos generados por la reducción de uso de cemento en los concretos	Área General	2
G-002	Diseño y Proporcionamiento de Mezclas, Módulo Teórico	Área General	5
G-003	Diseño y Proporcionamiento de Mezclas, Módulo Práctico	Área General	4
G-004	Características del Concreto fresco	Área General	7
G-005	Pruebas al concreto fresco	Área General	4
G-006	Familias de concreto	Área General	6
G-007	Componentes del Concreto	Área General	5
G-008	Proceso de fabricación del concreto, Módulo Teórico	Área General	3
G-009	Proceso de fabricación del concreto, Módulo Práctico	Área General	2
G-010	No más agua al Concreto	Área General	4

Fuente: elaboración propia.

4.3.1. **Laboratoristas de planta**

El módulo específico para laboratoristas de planta incluye todos los cursos relacionados con las funciones diarias de los laboratoristas de planta. El prerrequisito para este módulo es la aprobación del módulo general. Para poder desempeñar las funciones de laboratorista de planta es necesario contar con la certificación que avale la aprobación de los dos módulos. El módulo específico contiene 77 horas de capacitación y se compone de la siguiente manera.

Tabla XXI. **Propuesta de plan de capacitaciones módulo específico para laboratoristas de planta**

Código	Curso	Tipo	Duración (horas)
E-005	Certificación ACI Grado I	Área Específica	30
E-007	Transporte de especímenes de concreto	Área Específica	2
E-008	Uso eficiente de equipo para muestreos	Área Específica	2
E-009	Control Estadístico	Área Específica	14
E-002	Plan de Calidad al Producto (MP, Concreto fresco, Concreto endurecido)	Área Específica	10
E-004	Plan de Calidad al Proceso (Pruebas a los controles)	Área Específica	8
E-001	Controles a la Materia Prima del concreto	Área Específica	6
E-003	Ensayos a la Materia Prima del concreto	Área Específica	5

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Pilotos de camión mezclador

El módulo específico para pilotos de camión mezclador incluye todos los cursos relacionados con las funciones diarias de la posición. El prerrequisito para este módulo es la aprobación del módulo general. Para poder desempeñar las funciones de la posición es necesario contar con la certificación que avale la aprobación de los dos módulos. El módulo específico contiene 4 horas de capacitación y se compone de la siguiente manera:

Tabla XXII. **Propuesta de plan de capacitaciones específico para pilotos de camión mezclador**

Código	Curso	Tipo	Duración (horas)
E-011	Aditivos para manejo de slump del concreto en obra	Área Específica	2
E-010	Transporte de concreto en Camión Mezclador	Área Específica	2

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Operadores de planta

El módulo específico para operadores de planta incluye todos los cursos relacionados con las funciones diarias de la posición. El prerequisite para este módulo es la aprobación del módulo general. Para poder desempeñar las funciones de la posición es necesario contar con la certificación que avale la aprobación de los dos módulos.

La posición de operador de planta es clave para el alcance de los objetivos planteados en este proyecto. El operador de planta es el líder de la operación, y en él se deposita la confianza de la correcta toma de decisiones para garantizar el correcto desempeño de los concretos, además, los colaboradores que ocupan esta posición, necesitan demostrar un alto compromiso con el programa, ya que otra de sus funciones es supervisar el trabajo de los demás integrantes del equipo de dosificación.

El módulo específico contiene 33 horas de capacitación y se compone de la siguiente manera:

Tabla XXIII. **Propuesta de plan de capacitaciones específico para operadores de planta**

Código	Curso	Tipo	Duración (horas)
E-006	Proceso de comprobación, calibración y certificación de balanzas de plantas Dosificadoras	Área Específica	2
E-008	Uso eficiente de equipo para muestreos	Área Específica	2
E-002	Plan de Calidad al Producto (MP, Concreto fresco, Concreto endurecido)	Área Específica	10
E-004	Plan de Calidad al Proceso (Pruebas a los controles)	Área Específica	8
E-001	Controles a la Materia Prima del concreto	Área Específica	6
E-003	Ensayos a la Materia Prima del concreto	Área Específica	5

Fuente: elaboración propia.

4.3.4. Ejecutivos de venta

El módulo específico para ejecutivos de venta incluye todos los cursos relacionados con las funciones diarias de la posición. El prerrequisito para este módulo es la aprobación del módulo general. Para poder desempeñar las funciones de la posición es necesario contar con la certificación que avale la aprobación de los dos módulos. El módulo específico contiene 2 horas de capacitación y se compone de la siguiente manera.

La posición de ejecutivo de venta, es sumamente clave, ya que desde las negociaciones que se cierran con los clientes, se puede asegurar la correcta elección del producto adecuado a las necesidades de cada fundición y así evitar que ocurra algún ajuste indeseado en el proceso.

Tabla XXIV. **Propuesta de plan de capacitaciones específico para ejecutivos de venta**

Código	Curso	Tipo	Duración (horas)
E-011	Aditivos para manejo de slump del concreto en obra	Área Específica	2

Fuente: elaboración propia.

4.3.5. Clientes

El módulo específico para clientes incluye todos los cursos relacionados con las funciones diarias de la posición. El prerrequisito para este módulo es la aprobación del módulo general. Para poder desempeñar las funciones de la posición es necesario contar con la certificación que avale la aprobación de los módulos. El módulo específico se compone de la siguiente manera.

Tabla XXV. **Propuesta de plan de capacitaciones específico para clientes**

Código	Curso	Tipo	Duración (horas)
E-011	Aditivos para manejo de slump del concreto en obra	Área Específica	2

Fuente: elaboración propia.

4.4. Estandarización de procesos de control de calidad

Una de las piezas clave para poder medir el éxito de todo el proceso a implementar, será contar con la estandarización de todos los procesos y

equipos utilizados para realizar las mediciones de las variables derivadas del Plan de Calidad, es por ello que a continuación se definirán las características de los equipos a utilizar y los formatos y el procedimiento para el control de las actividades.

4.4.1. Dotación de equipo

Para la correcta implementación del plan de acción, es necesario contar con la tecnología adecuada para poder monitorear los indicadores de predicción propios del proceso productivo. Esas variables principales son el control correcto de las humedades de los agregados, el *slump* del concreto en planta y Obra y el monitoreo a la no adición de agua adicional a los concretos en los camiones.

Como se ha explicado anteriormente, para poder llevar el control de los indicadores arriba indicados, se realizan mediciones según las normas ASTM y ACI según planes de muestro aleatorios. En varias concreteiras del mundo se ha iniciado el uso de nuevas tecnologías que amplían el tamaño de la muestra al 100% de los concretos cargados y minimizan los controles manuales para su seguimiento. A continuación se presentarán dos de las herramientas más completas, que por análisis beneficio costo, podrían ser fácilmente adoptadas en el proceso de control de la operación.

La primera herramienta es el IBB PROBE, el cual está diseñado para medir en un solo paso las propiedades del hormigón fresco. Esas características son:

- Slump
- Temperatura

- Viscosidad
- Velocidad del tambor
- Dirección de giro del tambor
- Volumen de hormigón en el tambor

Figura 17. Pantalla de sistema IB Probe



Fuente: Departamento de Control de Calidad Mixto Listo.

Este innovador sistema contiene un sensor, un panel solar y un receptor de LED, que proporciona los datos necesarios en tiempo real. El sistema es fácil de instalar y es prácticamente libre de mantenimiento. Se puede conectar al sistema GPS existente para el control de calidad de la empresa. Un sistema de gestión está disponible para la completa integración del sistema.

El sistema IBB PROBE puede ser parte de un sistema más amplio que detecta automáticamente la adición de agua monitoreando constantemente el hormigón y sonando alarmas. Análisis de los datos almacenados permiten generar gráficos que muestran la evolución de las propiedades y/o parámetros.

La segunda herramienta es el COMMAND BATCH Precision Water System, el cual permite manejo automático de las humedades por medio de sensores en las tolvas de la planta, permitiendo el manejo de diferentes materiales en una misma tolva.

El sistema permite almacenar y codificar calibraciones independientes por combinación de sensor y material. Trabaja con COMMAND Batch el cual es el actual sistema utilizado por todas las plantas de la empresa.

Figura 18. **Sensor de humedad de Command Batch**



Fuente: Departamento de Control de Calidad Mixto Listo.

4.4.2. **Formatos para control**

Para la correcta aplicación de las herramientas propuestas del control de humedades de materia prima, de *slump* de concreto y de adición extra de agua a los concretos, los sistemas descritos poseen sistemas automatizados para el control de los *KPI* que permiten fácilmente tomar decisiones acordes a la

reducción del uso de cemento en los concretos. A continuación se presentan algunos ejemplos del sistema de reportes de los sistemas.

Figura 19. **Formatos para control automáticos generados por el sistema Command Alkon**

Command Alkon		Command Alkon							
1800 International Park Drive Suite 400 Birmingham, Alabama 35243 (800) 624-1872		Solutions To Build On™							
ACI 214 Statistical Report									
Number of 28D Tests	29	CoV 28 Day Strength	3.0 %						
Average 28D Strength	5880	ACI 214 Running Average of 3	YES						
ACI 214 Min Rec. Strength	4740	ACI 214 Standard Deviation Criteria	YES						
Specified Strength	4500	Standard Deviation of Last 30 Records	117.7						
	Concrete Temp deg F	Air Temp deg F	Slump in	28D STR psi	28D Last3 psi				
Max	84	94	7.00	6090	6070				
Min	65	72	3.00	5470	5690				
Count	8	10	22	29	27				
Mean	77	87	4.64	5880	5870				
SD	8	9	1.14	176.0	117.7				
CoV%	11	11	24.57	3.0	2.0				
Mix: S2845Y11 6.4 Sack 45 4500psi									
Period: 05/18/2007 to 06/04/2008									
Date	Ticket	Sample	Concrete Temp deg F	Air Temp deg F	Slump in	28D STR psi	28D . fc psi	28D Last3 psi	
10/03/2007	359099	359099	68	87	3.00	5880	1380	5880	
10/01/2007	358789	358789	65	87	6.00	5870	1410	5830	
09/13/2007	356853	356853	82	87	6.00	5720	1200	5770	
09/11/2007	356825	356825	84	87	5.00	5890	1410	5720	
09/11/2007	356619	356619	84	87	5.00	5710	1240	5720	
09/11/2007	356614	356614	81	87	5.00	5570	1020	5800	
09/19/2007	356544	356544	82	87	4.00	5890	1310	5860	
09/07/2007	356315	356315	67	87	6.00	5930	1370	5750	
06/14/2007	346800	346800		87	6.00	5750	1210	5780	
06/13/2007	346754	346754		87	3.00	5570	1020	5880	
06/13/2007	346749	346749		87	4.00	6010	1580	6040	
06/11/2007	346518	346518		87	4.00	6060	1580	6070	
06/09/2007	346365	346365		87	3.00	6060	1630	5970	
06/08/2007	346337	346337		87		6090	1650	5870	
06/08/2007	346326	346326		87	5.00	5770	1210	5840	
06/08/2007	346226	346226		87		5760	1190	5740	
06/06/2007	346038	346038		87	4.00	5990	1540	5790	
06/05/2007	345922	345922		87		5470	1010	5690	
06/05/2007	345867	345867		87		5920	1410	5740	
06/04/2007	345740	345740		87	6.00	5670	1210	5790	
06/04/2007	345727	345727		87	7.00	5640	1090	5890	
05/31/2007	345461	345461		87	4.00	6060	1680	6010	
05/31/2007	345456	345456		87		5970	1530	6000	
05/25/2007	345157	345157		87	4.00	6000	1530	6000	
05/22/2007	344789	344789		87	4.00	6020	1540	6000	
05/22/2007	344786	344786		87	4.00	5970	1510	6000	
05/22/2007	344742	344742		87		6010	1540	6040	
05/22/2007	344732	344732		87		6030	1580		
05/22/2007	344728	344728		87	4.00	6090	1590		
10/06/2008 9:27:30 AM						ACI Statistical Report	1 of 1		

Fuente: Departamento de Control de Calidad Mixto Listo.

5. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El presente Plan de Gestión Ambiental (PGA), ha sido formulado, con el propósito de brindar las herramientas necesarias que permitan a Mixto Listo aplicar e implementar las medidas de prevención, mitigación, control, protección o compensación, para mitigar los posibles impactos ambientales que puedan ser generados por la instalación, adecuación, operación y cierre de sus plantas móviles concreteras, dentro de toda la República de Guatemala.

5.1. Caracterización y valoración de impactos ambientales

En este ítem, se identifican los impactos ambientales positivos y negativos más significativos que se estarán dando en los componentes físico-químicos; biológicos y económico-sociales; para el efecto se utilizó una metodología de análisis de las fuentes de información primaria y secundaria disponibles, visitas de campo a plantas móviles dosificadoras de concreto premezclado en operación; lo cual permitió establecer la relación de las actividades más relevantes a desarrollar en cada etapa del proyecto y los componentes que conforman un modelo típico de planta.

Las actividades básicas o etapas de un proyecto visto desde la perspectiva de impactos al ambiente son:

- Instalación
- Operación
- Abandono (cierre técnico)

Las variables de análisis ambientales consideradas son:

- Componentes fisicoquímicos: atmósfera, suelo, agua
- Componente biológico: flora y fauna
- Componente socioeconómico

5.1.1. Emisiones al aire

Generación de polvos y partículas: este impacto se dará producto de la circulación interna de la maquinaria que abastece las tolvas de la planta, por la circulación de vehículos (camiones mezcladores) y por la mezcla de los materiales constituidos como materia prima para el proceso de dosificación y producción del concreto (arena, pedrín y cemento), lo cual podría generar polvo, polvillos y partículas en suspensión de cemento.

Generación de ruido: existirán emisiones sonoras, producto de todas las actividades que conlleva el proceso de operación de la planta. Es importante indicar que de acuerdo a mediciones realizadas en otras plantas móviles, los niveles de ruido oscilan entre los 70 y los 80 dB (A) desde la planta dosificadora hacia un radio de acción de 15 metros de promedio. El impacto sonoro al exterior del terreno, es generado por el tránsito vehicular que circula en las vías de acceso, al área de ubicación del terreno, cuyo rango de acuerdo a las mediciones realizadas en hora pico oscilan entre los 60 a 70 dB (A).

Generación de vibración: este es un impacto puntual en esta etapa de operación, dado que será generado por el desplazamiento de los camiones y parcialmente por el desplazamiento de la materia prima en la banda alimentadora a la planta dosificadora.

Generación de gases de combustión: la emisión de estos es producto de la operación de maquinaria que abastece de material a las tolvas y por los vehículos que ingresan a la carga del producto.

5.1.2. Producción de desechos

Entre los sólidos que se deben de contemplar en la operación de una planta concreta están los sólidos ordinarios, los tóxicos, aguas pluviales, domésticas e industriales, para cada uno se deben de tener ciertas consideraciones para su gestión eficiente.

5.1.2.1. Sólidos ordinarios

La actividad operativa de la planta no genera residuos sólidos de forma significativa, el promedio de trabajadores a utilizar en el proceso de operación de la planta es de 10 trabajadores permanentes, los cuales se estima que producirán 16 libras diarias de desechos, situación que no es significativa dado que se implementaran depósitos de basura, los cuales serán evacuados por un recolector privado; asimismo la materia prima que se utiliza en las plantas, es proporcionada a granel y sin ningún empaque, por lo cual no generan desechos sólidos.

Es importante también, tomar en consideración que si por una necesidad se generarán desechos de caucho, por el cambio de neumáticos a uno de los vehículos de la planta, las mismas no podrán ser almacenadas en este sitio, por lo cual serán trasladadas a la Planta San Miguel en el Progreso o dadas a una empresa autorizada, para su disposición final.

En referencia a desechos especiales, que se generan como producto de la limpieza de las fosas de sedimentación, estos serán dispuestos en el terreno y los materiales de rechazo serán conducidos al sitio de disposición final autorizado por la municipalidad jurisdiccional a la ubicación de la planta.

Cada planta contará con un lugar específico para cada tipo de desecho, el cual estará debidamente acondicionado e identificado. Por todo lo anterior se considera que no existirá impacto ambiental significativo asociado a los mismos.

5.1.2.2. Tóxicos y peligrosos

El proceso productivo en una planta dosificadora de concreto premezclado, no genera desechos peligrosos o tóxicos; el único ingrediente químico a utilizar son los aditivos de agregado para el fraguado acelerado del concreto, el cual será proporcionado a cada planta, por la empresa productora de los mismos en canecas plásticas, de donde serán vaciadas en los depósitos correspondientes, por lo cual una vez utilizadas serán retiradas de la planta por dicha empresa.

De igual forma es importante indicar, que no es política de Mixto Listo, realizar los servicios de mantenimiento a sus vehículos en las plantas móviles, sin embargo de ser necesario y contar con el espacio dentro del terreno, el aceite de cambio será almacenado en toneles; asimismo de existir derrame de aceite, lubricantes o combustible por maquinaria o camiones de carga y descarga para el proceso de producción, se dará aviso al Departamento de AFR de Cementos Progreso para su correcto traslado y eliminación, en los hornos de dicha planta o bien a una empresa autorizada para manejar los mismos.

5.1.3. Aguas pluviales, residuales domésticas e industriales

En este tipo de operación no generan aguas residuales ordinarias significativas, ya que considerando los 10 trabajadores promedio en la planta y el uso de los servicios sanitarios, la cantidad no sobrepasa los 0,20 m³/día. Además en las instalaciones que sean posibles serán tratadas a través de un biodigestor clarificador y un pozo de absorción o de ser posible se implementará un drenaje sanitario que previa autorización será conectado al colector municipal si lo hubiere en el área. De no ser posible la implementación mencionada anteriormente, se manejarán a través de una empresa de servicios sanitarios móviles tipo caseta.

La etapa de operación de la planta dosificadora de concreto, no genera aguas industriales directamente, por lo cual se estima que las aguas residuales producto del lavado de las góndolas de los camiones premezcladores de concreto, serán alrededor de 1,5 a 3 m³/día, las cuales serán tratadas a través de un sistema de fosas sedimentadoras de flujo ascendente, con el objeto de poder ser reutilizadas en el lavado o en el regado de las áreas de circulación de vehículos, donde se genera polvo; se considera que este no será un impacto significativo.

5.1.4. Materias primas y materiales de construcción

Se considera que los posibles impactos, podrían generarse de un mal manejo en los patios de la materia prima (arena, pedrín) para el proceso de dosificación, produciendo escorrentía o polvo, sin embargo los mismos estarán apilados con bloques de concreto hasta de 2,00 m de alto dependiendo el tamaño del patio y tapados con lona o plástico cuando sea necesario por lo regular en época de lluvia para evitar su despliegue o generación de polvo en

época seca o que no se estén utilizando en el proceso. En relación a la materia prima constituida por el cemento este será depositado a granel directamente en el silo que forma parte de la planta y la misma contará con un filtro aspirador que mitigara el impacto de generación de polvos.

En referencia a la materia prima constituida por combustibles (*diesel*) para los camiones, los mismos se abastecerán en estaciones de servicio autorizadas para el efecto por Mixto Listo y el utilizado en la planta contara con todas las medidas de seguridad contando con un tanque hermético y con la señalización debida de seguridad y precaución.

5.1.5. Suelo y las aguas subterráneas

Se considera que la etapa de operación de la planta, no generara impactos significativos o negativos al suelo , ni al agua subterránea, toda vez que la empresa ejecuta acciones directas para evitar cualquier tipo de fluido contaminante hacia el suelo, además de mantener cierto grado de humedad en las áreas para evitar erosión.

5.1.6. Biodiversidad local

De arrendarse o adquirirse un terreno con cobertura vegetal, los impactos que se verán en los componentes biológico-ecológicos serán los siguientes:

Pérdida de vegetación: el desarrollo del proyecto en un terreno con cobertura vegetal, implica la eliminación de una porción de la vegetación existente en el sitio, que en su mayoría es vegetación arbustiva.

Pérdida de hábitats: al momento de desarrollarse las actividades constructivas se estarán alterando los hábitats o micro hábitats que pudieran existir en el sitio de desarrollo del proyecto.

Disturbios a la fauna silvestre: las actividades constructivas conllevan la interacción del personal que laborara en la obra con la fauna silvestre del sitio, esto indudablemente provocara la movilización de la fauna a donde no sean perturbados.

5.2. Evaluación de impactos y síntesis

La metodología, utilizada para la evaluación y valoración de los impactos ambientales que se generen con la operación de una planta móvil dosificadora de concreto premezclado; se desarrolló de conformidad a lo que establece el Acuerdo Gubernativo 431-2007 “Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental”, así como la Guía de los Términos de Referencia para la elaboración de Planes de Gestión Ambiental, proporcionada por la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

En consecuencia, su estructura se enmarca en base a los resultados obtenidos a través de la consulta de fuentes de información primarias y secundarias (bibliografía y entrevista), combinadas con listas de chequeo y las visitas e inspecciones de campo realizadas a cinco plantas en operación. Estos resultados, permitieron la elaboración de una matriz de causa – efecto, de las actividades y acciones del proyecto y los factores ambientales considerados y estudiados.

Para la elaboración de la matriz, se seleccionó el método de Matriz de Leopold modificada, tomando como base la matriz genérica desarrollada para este tipo de proyectos de infraestructura física. La valoración de los impactos, se realizó de conformidad con la nomenclatura que se les asigna en la matriz, de acuerdo a las categorías que se presentan a continuación.

Tabla XXVI. **Matriz de Leopold modificada para proyectos de operación de concreteteras**

Factores Ambientales				Recepción de MP	Carga de MP	Dosificación de MP	Carga de Camiones	Manejo de desechos líquidos	Manejo de desechos sólidos	Lavado de góndolas de camiones	Comercialización del producto	Manejo de desechos tóxicos	Generación de Mano de Obra
Efectos Físico-Químicos	Agua	Superficial	Variación de Flujo					A					
			Calidad		A	A	A		A		b		
		Subterránea	Interacciones con la superficie				A		A				
			Calidad				A				b		
	Suelo	Erosión		A									
		Uso potencial											
		Compatibilidad de uso			b	b		b					
		Calidad					b	b	b	A	A		
		Compactación							b				
		Estabilidad											
	Atmósfera	Emisiones Sonoras			A	A					A		
		Calidad del aire		A		b	b				A		
		Emisiones gaseosas			A	A					A		
		Visibilidad				b	b						
Efectos Estéticos	Paisaje												
	Apariencia del aire					b	b			A			
	Emisión de olores						b	b					
Efectos Socio-económicos	Tenencia de la tierra												
	Economía local									B		B	
	Empleo y Mano de Obra			B	B	B	B	B		B		B	
	Infraestructura									B		B	
	Salud							B	B				
	Educación laboral					B	B	B	B		B		B
	Calidad de vida					b	b				B		B
	Circulación vehicular						b	A	A		B		
Reciclaje de desechos sólidos								b	b				

Fuente: elaboración propia.

5.2.1. Valoración de impactos ambientales identificados

La metodología aplicada permitió la identificación de impactos adversos como benéficos, fundamentados en 75 interacciones de las cuales 53 de ellas son de tipo benéfico equivalentes al 71% del total, dejando 22 para un 29% de intervenciones adversas. De conformidad a estos resultados obtenidos, se puede concluir que si bien es cierto que se generaran impactos ambientales negativos o interacciones adversas, los mismos pueden ser mitigados a través de los planes de manejo propuestos en el presente PGA, lo cual permite, establecer que los proyectos de plantas móviles concreteras de Mixto Listo, contemplan todas las medidas de corrección y mitigación correspondientes para los impactos adversos.

Tabla XXVII. Valoración de impactos ambientales identificados

Inreacciones encontradas	Código	Número	%
Impactos Adversos No significativos	A	22	29%
Impactos Benéficos Significativos	B	34	45%
Impactos Benéficos No Significativos	b	19	25%
TOTAL		75	100%

Fuente: elaboración propia.

5.3. Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación de impactos (MMI) tienen como objeto compilar las medidas técnicas, normativas y administrativas que se pondrán en práctica para mitigar, reducir o corregir los impactos negativos que se produzcan, durante las fases de operación y abandono del proyecto.

Estas MMI incluyen 3 secciones principales, una para la fase de construcción, la segunda es la fase de operación y la última para el abandono del proyecto. Dentro de las 3 secciones, se presentan por separado las MMI genéricas que se deben de tomar en cuenta, pero, estas variarán según el tipo de proyecto, por lo que, a continuación se presenta como una guía de implementación.

5.3.1. Fase de construcción e instalación de la planta

- Para las operaciones de habilitación de la superficie, construcción de las bases y montaje de la Planta dosificadora, se buscará la minimización del tiempo de intervención, ruido generado y movimientos de tierra requeridos. Asimismo, en cuanto sea posible y de acuerdo a las características del terreno, se buscará compensar la relación del corte y relleno para evitar la evacuación de material sobrante y la importación de material de préstamo.
- Durante la construcción de las plataformas no se alterarán los drenajes naturales del área ni se obstruirán cuerpos de agua si existieran; hay que considerar que a la fecha todos los terrenos seleccionados para la instalación de plantas ya habían sido intervenidos.
- Durante la construcción se implementarán medidas para controlar la erosión y el consecuente arrastre de sedimentos.
- La construcción de las cimentaciones de la plataforma y losa de concreto para la fijación de la planta dosificadora se ejecutará según los resultados obtenidos, en la instalación de otras plantas instaladas por la empresa.

- Los desechos generados durante la fase de acomodamiento del terreno, construcción de las plataformas de fijación de la planta se manejarán según lo dispuesto en el Programa de Manejo de Desechos, el cual se explicará en capítulos posteriores.
- La superficie de la zona de acopio de materias primas (arena, piedrín) será nivelada y compactada según las necesidades de instalación y posterior protección, pero no tendrá ningún recubrimiento adicional.
- Durante la habilitación de la zona de acopio de materia prima se implementarán medidas para controlar erosión y el consecuente arrastre de sedimentos.
- La zona de acopio o patios de materia prima tendrá un cerramiento temporal de hasta 2 m de altura con bloques de concreto para evitar escorrentía.
- Durante la construcción de la vía de acceso no se alterarán los drenajes naturales del área ni se obstruirán cuerpos de agua o cunetas de la vía de acceso.
- La vía de acceso contará con cunetas laterales y alcantarillas si fuera necesario, para minimizar la afectación a los patrones naturales de drenaje de la zona.
- Previo a las labores de remoción de vegetación, si este fuera el caso, se deberán identificar a todas las especies nativas no matorral, dentro del área de afectación directa de las plataformas, las mismas que serán

trasplantadas en zonas de los alrededores, fuera del área de influencia directa del proyecto.

- El suelo superficial o capa orgánica vegetal removida, será preservada en la misma zona, en la periferia del terreno formando montículos (stock piles), que delimiten el mismo.
- De ser necesario la utilización de tanques de almacenamiento de combustible, deberá de cumplir con todos los lineamientos técnicos y de seguridad; así como con el trámite y autorización de las licencias correspondientes ante el MEM.
- Para las operaciones de construcción de la vía de acceso se buscará la minimización del tiempo de intervención, ruido generado, movimientos de tierra requeridos y arrastre de sedimentos por lluvia.
- Durante el transporte vehicular a través de la vía de acceso en la fase de construcción, se deberán cumplir los límites de velocidad de 20 km/h para vehículos livianos y vehículos pesados con carga.
- Los desechos generados durante la fase de construcción de la vía de acceso se manejarán según lo dispuesto en el Programa de Manejo de Desechos, el cual se describirá en capítulos posteriores.
- Previo a las operaciones de transporte durante la etapa constructiva, se verificarán las condiciones de seguridad necesarias, de acuerdo al tipo de carga a transportarse.

- Todas las áreas de trabajo se mantendrán húmedas, para evitar emisiones de polvo significativas.

5.3.2. Fase de operación de la planta

- La planta dosificadora operará con requerimientos mínimos de personal; es decir, la planta no tendrá un despliegue de personal constante e intensivo, sino que la presencia de operadores estará restringida a la necesaria para tareas de manejo de la Planta, de mantenimiento y supervisión, y en otros casos que se juzgue necesario.
- Para la operación de la planta dosificadora, se verificarán los requisitos de instalación eléctrica, de la planta *díesel*, montaje y seguridad especificados por el equipo técnico de Mixto Listo.
- Durante la vida operativa en el sitio de la planta, sus componentes y equipo se someterán estrictamente al régimen de mantenimiento a fin de mantener las condiciones operativas, previstas para su uso.
- El mantenimiento o limpieza de piezas mecánicas de los camiones mezcladores o de maquinaria pesada como el cargador frontal, podrá realizarse en las plataformas, en un área específica que cuente con piso impermeable y un sistema de contención que permita contener y recuperar aceites u otros químicos en caso de un eventual derrame, para la disposición adecuada de estos fluidos.
- Permanentemente, se deberá mantener un stock mínimo de repuestos, y personal capacitado en mantenimiento correctivo básico, a fin de

minimizar el tiempo en que el sistema deba funcionar por desperfectos mecánicos.

- Los desechos generados durante la fase de operación se manejarán según lo dispuesto en el Programa de Manejo de Desechos, el cual se describirá en capítulos posteriores.
- Los desechos líquidos producto de los servicios sanitarios serán tratados en un biodigestor y posteriormente a un pozo de absorción, se garantizará la limpieza permanente de sólidos y el análisis respectivo de acuerdo a la normativa vigente.
- La iluminación de las áreas de la planta estará apagada durante la noches, excepto cuando personal de la planta esté laborando en tareas de operación o de mantenimiento.
- Los patios, con la materia prima (arena y piedrín) apilada, se delimitarán en su contorno con bloques de concreto, para evitar escorrentía y se taparán con lona o plástico de poliuretano negro, fuera de horas de trabajo para evitar emisiones de polvo o partículas significativas.
- Durante el transporte vehicular a través de la vía de acceso en la fase operativa, se deberán cumplir los límites de velocidad de 20 km/h tanto para vehículos pesados con carga como para vehículos livianos.
- Los ingresos y áreas de caminamientos de vehículos se mantendrán húmedos con riego constante para evitar emisiones de polvo significativas a la atmósfera.

- Periódicamente se realizará el mantenimiento de cunetas y alcantarillas (si existieran), para garantizar su operatividad y evitar escorrentía con material.
- Los vehículos requeridos para las actividades del proyecto serán sometidos a un régimen de mantenimiento periódico que garantice condiciones de seguridad, y emisiones a la atmósfera y ruidos que no causen molestias en las áreas pobladas vecinas.
- Los desechos líquidos producto del lavado de las góndolas de los camiones mezcladores, se realizará en un sistema de fosas de sedimentación de flujo ascendente, para ser reutilizada para el lavado o en el regado de las áreas que generan polvo.
- La planta dosificadora, contará con equipo de filtración para evitar emisiones significativas de polvo en la mezcla de los materiales.
- Los camiones mezcladores y de abastecimiento de materia prima, se mantendrán apagados en los períodos que no sea estrictamente necesario mantener encendido el motor para disminuir la generación de ruido.
- En el sitio, se contará con equipo contra incendios y material absorbente para limpiar eventuales derrames o goteos.
- Las tareas de limpieza y mantenimiento de la planta se realizarán conforme a planes pre-establecidos, según las necesidades del promotor, pero se procurará una afectación mínima al ambiente y tiempo de intervención, y se asegurarán las condiciones de seguridad del caso.

- Durante la vida operativa de la planta dosificadora, sus componentes se someterán estrictamente al régimen de mantenimiento preventivo especificado por los técnicos especialistas, a fin de mantener las condiciones operativas previstas en el proceso productivo.
- El mantenimiento de vehículos, se realizará sobre las áreas con contención impermeable que permita la recuperación del aceite en caso de derrames.
- Todas las áreas de la planta, contarán con el sistema de señalización restrictiva, precautoria e indicativa, para garantizar la seguridad tanto del personal como de visitantes.
- Todo el personal de la planta, contara con el equipo respectivo para el desarrollo de sus actividades y protección de impactos como ruido e emisiones (casco, chaleco reflectante, lentes y tapones de protección auditiva); de igual manera no se permitirá el ingreso de ningún visitante sin la autorización y el equipo respectivo.

5.3.3. Fase de abandono retiro técnico de la planta

- Toda el área de la zona de acopio o patios de materias primas será rehabilitada y devuelta a su estado natural tras haber finalizado el tiempo de la etapa de operación de la planta.
- La rehabilitación implica el retiro de los materiales, desechos y cualquier otra infraestructura; reconfiguración de los patrones naturales de la zona de manera que queden compatibles con sus alrededores y habilitación del suelo para la recuperación natural de la cubierta vegetal de la zona.

- Retiro de equipos para su evacuación y disposición adecuada fuera del sitio.
- Retiro de infraestructura: cimientos, cunetas, capa de agregados y obra civil en general.
- Retiro de desechos sólidos y disposición según el Programa de Manejo de Desechos, el cual se describirá en capítulos posteriores.
- Evaluación ambiental preliminar para verificar que no existan indicios de pasivos ambientales.
- Reconformación de la geomorfología y patrones de drenaje del área.
- Generación de condiciones que propicien la recuperación natural de la flora de la zona: descompactación del suelo, retiro de áridos, reposición de capa vegetal.

5.3.4. Responsabilidades en la aplicación de las medidas de mitigación

El jefe de operaciones es el responsable directo de la implementación y de la aplicación de todas las medidas de mitigación descritas anteriormente. El jefe de operaciones podrá delegar esta tarea al personal operativo de planta, asignando tareas específicas, las cuales deberán de ser supervisadas constantemente, estas deben de ser incluidas en el Plan de Monitoreo, el cual será descrito en capítulos posteriores.

5.4. Planes de manejo específicos

Dentro de los planes de manejo de riesgos específicos, se debe de considerar como área de especial atención, la implementación de un Programa de Salud y Seguridad Ocupacional, por lo que a continuación se presentan las consideraciones básicas que deben de considerarse en dicho plan.

5.4.1. Programa de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional

Previo al inicio de las actividades, Mixto Listo, hará del conocimiento de sus trabajadores las medidas de seguridad industrial que aplicará en el proyecto. Estos procedimientos incluirán, los aspectos específicos relacionados con la seguridad de sus actividades, y el personal responsable de estos aspectos.

El Plan de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional incluirá los siguientes aspectos:

- Identificación de riesgos
- Inducciones
- Equipo de protección personal
- Respuesta ante emergencias

Identificación de riesgos: antes del inicio de cualquier actividad, los trabajadores deberán estar capacitados sobre los riesgos asociados a sus tareas específicas y las maneras de minimizarlos. Entre las actividades que suponen riesgos durante la construcción y tareas de mantenimiento deben mencionarse las siguientes: transporte de carga pesada, elevación e izado de carga pesada, manejo de combustibles para maquinaria.

Inducciones: todo el personal que trabaje en el proyecto, previo a su ingreso a los sitios de trabajo asignados, recibirá una inducción sobre aspectos relativos a la Seguridad Industrial. Además se verificará como requisito mínimo, que el personal cuente con el examen médico. Se utilizará material audiovisual para difundir la información básica indispensable sobre salud y seguridad personal.

Las charlas de seguridad industrial se realizarán, durante el primer semestre y con frecuencia mensual, para capacitar al personal sobre procedimientos generales y específicos de operación para evitar incidentes mayores, y charlas breves sobre riesgos antes del inicio de cada actividad.

Equipo de protección personal: el uso de equipo de protección personal (EPP) será obligatorio para todo el personal de la planta desde su instalación hasta su cierre. La selección del EPP necesario y la calidad del mismo requerido, se determinará en función de los riesgos identificados para actividades específicas, conforme a prácticas convencionales en la empresa. El EPP se proveerá a todo el personal según el requerimiento específico de trabajo. Además, los trabajadores deberán estar capacitados para su correcto uso.

5.4.2. Desechos sólidos ordinarios

Tal como se ha descrito, la implementación de una planta dosificadora de concreto premezclado, no conlleva la generación de un volumen significativo de desechos sólidos ordinarios o domésticos, dentro de ninguna de sus etapas de instalación, sin embargo es importante plantear un plan que contempla algunas medidas de su manejo, que deberán de implementarse durante todo el proceso.

- Concientizar al personal de la planta, para la correcta disposición de desechos en los recipientes acondicionados para el efecto.
- El encargado de la planta, debe de monitorear a través de inspecciones visuales, las distintas áreas de la planta, con el objeto de verificar el uso de los recipientes de forma adecuada y si su capacidad fue superada.
- El acomodamiento de un área, para la correcta evacuación por parte de un recolector privado, debe estar al alcance inmediato, con un aparcamiento que no obstaculice las labores del tránsito de los vehículos que participan en el proceso de producción de la planta.

5.4.3. Desechos sólidos tóxicos y peligrosos

En este componente la empresa, contempla la implementación de un manejo adecuado de los desechos que en determinado momento podrían generar un impacto significativo, principalmente al suelo, producto del derrame de algún lubricante, aceite o combustible.

El programa de capacitación de personal de la empresa, contempla técnicas de limpieza con materiales absorbentes y evacuación inmediata de estos desechos. Dado el sistema productivo de la planta no se contemplan otros desechos peligrosos dentro del proceso.

5.4.4. Desechos líquidos

El Plan de Manejo de Desechos Líquidos contempla la implementación de un sistema de tratamiento primario para las aguas ordinarias, a través de la instalación de un biodigestor y un pozo de absorción, de donde se realizará una

caracterización continua de los líquidos tratados a través de análisis de laboratorio, cuyos resultados serán comparados con los límites máximos permisibles para entes generadores nuevos, incluidos en el artículo 21 del reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos. El plan contempla la presentación de informes semestrales a la Unidad de Recursos Hídricos del MARN, a través de la DIGARN.

En referencia a los desechos líquidos producto de las aguas de lavado de los camiones premezcladores, una vez separadas las aguas de la sedimentación a través de las fosas de flujo ascendente, el plan contempla su reutilización constante en el mismo lavado de camiones y regado de las áreas generales de la planta.

5.4.5. Gestión de riesgos

La gestión de riesgos se determinará en función de las tareas, procedimientos y responsabilidades contenidas en el Manual de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional de la Empresa. En este se identifican los riesgos y se establecen los lineamientos para su correcta gestión.

El Manual de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional es parte del Plan de Inducción General, para los colaboradores de reciente ingreso y se imparte un refrescamiento de los temas con frecuencia anual.

5.4.6. Cronograma de implementación y evaluación

A continuación se presenta el cronograma propuesto para evaluar y gestionar los riesgos encontrados:

Tabla XXVIII. **Cronograma de implementación y evaluación**

Componente Ambiental	Impacto Ambiental	Puntos de Control	Frecuencia de Monitoreo	Método de Medición	Responsable
Agua	a) Modificación de la Calidad del agua filtrada por escorrentía b) Producción de desechos líquidos c) Alteración de las propiedades del suelo	a) Area de patios de MP b) Biodigestor y pozo de absorción c) Fosas de sedimentación de flujo ascendente, área de lavado de camiones	Semestral	Aforos directos y análisis de laboratorio	Jefe de Región
Atmósfera	a) Alteración de la calidad del aire por emisiones y ruido b) Molestias causadas a la comunidad	a) Area de patios de MP b) Areas de estacionamiento de camiones c) Area de planta dosificadora	Semestral	a) Medición de partículas en suspensión b) Medición de decibeles	Jefe de Región y Jefe de Mantenimiento
Suelo	a) Producción de desechos sólidos ordinarios b) Derrames de aceites y combustible	a) Todas las áreas de las instalaciones de la planta b) Depósitos específicos de desecho c) Areas de estacionamiento y mantenimiento de vehículos	Diario	a) Verificar la capacidad de los depósitos de desechos de llenado diario b) Inspección ocular a las áreas de mantenimiento de vehículos	Jefe de Mantenimiento
Flora	a) Cambios en la cobertura vegetal b) Pérdida de la cobertura vegetal	Areas restauradas dentro del terreno de la planta	Semestral	a) Campaña a personal de la empresa b) Inventarios	Gerente de RRHH
Fauna silvestre	Alteración del hábitat	Colindancias directas al terreno y en cobertura vegetal no removida en el terreno	Semestral	Visual, fotografía	Jefe de Región
Paisaje	Modificación del paisaje	Entorno del terreno de ubicación de la planta, fachadas e ingreso	Anual	Calidad visual	Jefe de Región

Fuente: elaboración propia.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y MEJORA CONTINUA

Luego de haber determinado el proceso de evaluación y haber confirmado la factibilidad de la implementación, en este capítulo se evaluarán los resultados del primero período de implementación, para hacer una proyección anual de resultados.

6.1. Producción de concreto en plantas

Los primeros indicadores a evaluar serán los derivados de los procesos de la operación de la concreteira, es decir aquellos que son predictivos, y luego, se evaluarán los indicadores resultantes del desempeño del concreto.

Para los indicadores predictivos nos basaremos en aquellos que se derivan de todos los procedimientos desde la toma de muestra de las humedades, hasta los resultados de adición de agua en las obras.

6.1.1. Monitoreo y ajustes en procedimientos

Los resultados del monitoreo a los procedimientos se analizaron en dos grandes áreas:

- Manejo de humedades de agregados
- Ajustes manuales de agua vs ingreso correcto de las humedades

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto a manejo de las humedades de los agregados.

Tabla XXIX. **Resultados de auditoría a procedimiento de manejo de humedades en planta**

Día	No. De muestreo del día	El Laboratorista efectua el Procedimiento según norma	El laboratista llena la boleta de muestreo y entrega a Operador	El operador digita los datos en el sistema
1	1	Sí	Sí	Sí
1	2	Sí	Sí	Sí
2	1	Sí	Sí	Sí
2	3	Sí	Sí	Sí
3	2	No	No	No
3	3	Sí	Sí	Sí
4	1	Sí	Sí	Sí
5	1	Sí	Sí	Sí
5	2	Sí	Sí	Sí
	X=2	88%	88%	88%

Fuente: elaboración propia.

En comparación con las pruebas iniciales antes de la implementación del sistema, los indicadores pasaron de un 44% en el procedimiento de toma de muestra de humedades a un 88% de cumplimiento, y en el caso de la entrega de la boleta al operador y la digitación de datos en el sistema, los indicadores crecieron de un 33% a un 88% en ambos casos, lo cual refleja una notable mejoría del desempeño en la ejecución.

Después de haber encontrado un control aceptable de la forma en que se manejan los datos de las humedades en las plantas, a continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto a los ajustes manuales de agua en comparación con el ingreso correcto de las humedades al sistema.

Tabla XXX. **Resultados de auditoría a procedimiento de mezclado de concreto**

Día	Tiempo de mezclado	Ajuste Manual de Agua	Ingreso correcto de las humedades al sistema
1	03:21	No	No
1	04:23	No	No
1	02:55	No	No
2	04:33	No	No
2	04:54	No	No
2	05:01	No	No
3	04:33	No	No
3	04:12	No	No
3	03:53	No	No
4	04:01	Sí	Sí
4	05:00	No	No
4	04:21	No	No
5	04:16	Sí	Sí
5	04:27	No	No
5	05:02	No	No

Fuente: elaboración propia.

En comparación con las pruebas iniciales antes de la implementación del sistema, los indicadores pasaron un 33% a un 86% en ambos casos, lo cual refleja una notable mejoría del desempeño en la ejecución. Adicional encontramos que la correlación directa entre el ingreso correcto de humedades y el ajuste manual de agua en los concretos es equivalente a 1, lo cual refuerza el concepto de la importancia del monitoreo constante de los procedimientos.

6.2. Características del concreto fresco

Para medir el desempeño del concreto en estado fresco, nos centraremos en una única variable, la cual resume todo el esfuerzo realizado en cada uno

de los procesos de la operación, esta variable será el indicador de resistencia del concreto a 28 días y la variabilidad de los resultados respecto a la media.

6.2.1. Monitoreo y ajustes a diseño

Después de medir los resultados de resistencias y su variabilidad, en la primera semana se obtienen los siguientes resultados.

Tabla XXXI. Resultados de auditoría a resistencias de concreto en obra

Carga	Elemento a fundir	Slump en Obra según diseño	Slump real en Obra	Ajuste de concreto en Obra	f'c	fc
1	Losa plana	5" +/- 1"	4 1/2"	No	3000	3895
2	Losa plana	5" +/- 1"	4 1/2"	No	3000	3958
3	Losa inclinada	3" +/- 1"	4 1/2"	Sí	3000	3514
4	Losa plana	5" +/- 1"	4"	No	3000	3778
5	Muro	8" +/- 1"	7"	No	3000	3874
6	Losa plana	5" +/- 1"	4 1/2"	No	3000	3725
7	Losa inclinada	3" +/- 1"	3"	No	3000	3942
8	Muro	8" +/- 1"	8 1/2"	No	3000	3699
9	Columnas	8" +/- 1"	8"	No	3000	3958
10	Losa plana	5" +/- 1"	2 1/2"	Sí	3000	3415
						X= 3775
						D.E.= 190

Fuente: elaboración propia.

Con estos resultados se observa que el promedio de resistencias es superior al obtenido en el la medición inicial, pasando de 3 465 a 3 775 psi. El dato más importante de esta evaluación es la reducción significativa en la variabilidad de los resultados, pasando de una desviación estándar de 327 a una de 190, lo cual permite creer que es factible una reducción en la cantidad

de cemento en los diseños a los concretos, sin que estos pongan en riesgo la obtención de la f'c, la evaluación de los resultados de las resistencias después de hacer el ajuste en los diseños, se presentará en capítulos posteriores.

6.3. Auditoría de mantenimiento preventivo a equipos

El mantenimiento preventivo a los equipos definió como elemento indispensable para el alcance de los resultados esperados, estos mantenimientos abarcan desde los componentes de pesaje y medidores de flujo en las plantas y equipos de mezclado de los camiones que transportan el concreto, hasta las herramientas utilizadas en la toma de muestras y ensayos de las mismas.

6.3.1. Mantenimiento a equipos de dosificación (planta)

Se definieron tres niveles de mantenimientos preventivos a las balanzas y flujómetros de las plantas, las cuales son:

- Inspección de balanzas
- Verificación de balanzas
- Calibración y certificación de balanzas.

El primer nivel es con frecuencia semanal, efectuada por el personal de planta, el segundo nivel se realiza con frecuencia mensual y es efectuado por el personal de mantenimiento de plantas de la empresa, y el tercer nivel es realizado de manera trimestral por una empresa contratista.

Los resultados de la auditoría a todas las plantas activas de la empresa reflejan un 100% de cumplimiento en cada uno de los 3 niveles.

6.3.2. Mantenimiento a equipos de mezclado y distribución (flota)

El mantenimiento de los equipos de mezclado utilizados en los camiones que transportan el concreto debe de hacerse de manera preventiva, para garantizar la homogenización de la mezcla y contribuir con el desempeño óptimo de los concretos al ser despachados y colocados en los proyectos.

Los componentes del sistema de mezclado que están sujetos a un sistema de mantenimiento preventivo son los siguientes:

- Aletas del interior del cumbo (cada 2 000 horas)
- Switch en cabina para el control del cumbo (cada 500 horas)
- Switch en exterior para el control del cumbo (cada 250 horas)
- Cilindros de movimiento de cumbo y pista de rodaje (cada 1 000 horas)
- Bomba hidráulica para cumbo (cada 250 horas)

De los resultados de las auditorías a estos procesos se encontró un cumplimiento general de 64% de cumplimiento de los mantenimientos preventivos en un rango de +/- horas, el cual es parámetro de tolerancia permitido para todos los plazos.

Se encontró que el 79% de los casos en los cuales no se cumplieron los tiempos previstos de mantenimiento se manifestaron en los equipos asignados a las plantas instaladas en el interior de la República, debido a que por ahorro de costos en viáticos, los mantenimientos se están programando en combos de 5 camiones, con lo cual algunos de ellos son atendidos varios días después de haber cumplido el tiempo previsto. Este es un punto de mejora a trabajar a futuro.

6.3.3. Equipos y herramientas

En este apartado se analizará el plan para los equipos de muestreo de concreto fresco, así como al conjunto de equipos necesarios para efectuar los ensayos de roturas a los cilindros en estado sólido.

6.3.3.1. Equipo para muestreo

El equipo para realizar muestras al concreto fresco es el siguiente:

- Cono de Abrams (cono truncado: altura: 12", diámetro superior: 8", diámetro inferior: 4").
- Base construida de un material liso y no absorbente, para garantizar el desplazamiento correcto del concreto.
- Varilla de 24" de largo por 5/8" de diámetro que deberá tener uno o ambos extremos redondeados semiesféricamente.
- Un recipiente capaz de contener un volumen mínimo de 28 l (Para la muestra).
- Una regla de dimensiones mínimas de 12" y que sea capaz de medir 1/4" (0,25 plg).

Todas las herramientas indicadas anteriormente deben de tenerse en perfectas condiciones, estas deben de ser revisadas y al inicio de cada jornada por el laboratorista de planta, adicional, se debe de ejecutar un sistema de

auditoría con frecuencia mensual por parte del Supervisor de Plantas, para controlar las características y estado de los equipos.

Después de efectuado el estudio se dotó a todas las plantas de las herramientas necesarias, por lo que el estatus inicial es conforme en un 100%.

6.3.3.2. Equipos para ensayos

El equipo de rotura de cilindros que se utiliza en los laboratorios, debe de ser un equipo certificado por una entidad externas, que avale la calibración de sus componentes.

En el caso de los tres equipos que utiliza la empresa para realizar las roturas de las probetas, todos se someten a un programa específico de mantenimiento preventivo, el cual debe de realizarse con una frecuencia de mensual. Según la auditoría realizada, se tienen documentados los últimos 6 años del plan con un cumplimiento del 100%.

6.4. Presentación de resultados

Los procesos y los resultados serán documentados de manera diaria, haciendo registros semanales de todos los indicadores de desempeño para medirla evolución de las resistencias de los concretos y poder tomar las decisiones oportunas.

Tal y como se presentó anteriormente, luego de aplicar los cambios a todos los procesos definidos dentro del plan de control, se logró reducir la desviación estándar de los resultados de resistencias de concreto, pasando de 327 a una de 190, dichos resultados fueron alcanzados con un incremento en el

promedio de resistencias, pasando de 3 465 psi a 3 775, por lo cual se determinó la factibilidad de poder hacer un primer ajuste en la cantidad de cemento de la mezcla de los concretos. El primer ajuste se realizó con 30 Kg de cemento menos en todos los diseños de concreto, los resultados de resistencias de la primera semana son los siguientes:

Tabla XXXII. Resultados de desempeño del concreto luego de ajuste a diseños

Carga	Elemento a fundir	Slump en Obra según diseño	Slump real en Obra	Ajuste de concreto en Obra	f'c	fc
1	Losa plana	5" +/- 1"	4 1/2"	No	3000	3421
2	Losa plana	5" +/- 1"	4 1/2"	No	3000	3312
3	Losa inclinada	3" +/- 1"	2 1/2"	Sí	3000	3075
4	Losa plana	5" +/- 1"	4"	No	3000	3498
5	Muro	8" +/- 1"	7"	No	3000	3198
6	Losa plana	5" +/- 1"	4 1/2"	No	3000	3222
7	Losa inclinada	3" +/- 1"	3"	No	3000	3374
8	Muro	8" +/- 1"	8 1/2"	No	3000	3261
9	Columnas	8" +/- 1"	8"	No	3000	3252
10	Losa plana	5" +/- 1"	2 1/2"	Sí	3000	3101
						X= 3271
						D.E.= 134

Fuente: elaboración propia.

6.4.1. Indicadores de medición

Los indicadores a evaluar en el proceso serán los siguientes:

- X = resistencia promedio de los concretos
- D.E.= desviación estándar de las resistencias de los concretos
- Q/psi= unidades Monetarias por resistencia de concreto obtenida

Todos los indicadores serán revisados con periodicidad semanal, evaluándolos por tipos de concreto, por planta y por la operación completa del negocio.

6.5. Análisis de Información

Los resultados se alcanzaron haciendo una reducción de 30 Kg de cemento en cada diseño de los concretos, tal y como se aprecia en este resumen de resultados, todas las muestras se encuentran por arriba de $f'c$ y se logró una disminución de la desviación estándar a 134.

Al reducir estos 30 Kg de cemento por cada diseño y hacerlo sostenible por un período de 12 meses, encontramos un ahorro teórico para la empresa de más de 12 millones de kilogramos de cemento, que traducido a unidades monetarias, son Q.18 199 353,00.

6.5.1. Reducción del impacto ambiental

En base a la optimización en el uso de cemento, se encontró una disminución del 4,2% medido sobre el total de CO₂ emitido por la industria de concreto en Guatemala.

La disminución medida respecto a la producción de CO₂ emitida en la empresa en estudio es de 6,1%.

Las diferencias están basadas en los datos de producción de concreto anual, tanto de la industria como de la empresa en estudio.

Tabla XXXIII. **Disminución del impacto ambiental generado por la industrial de cemento optimizando el uso de cemento en el diseño de los concretos**

Medición	Estatus antes de implementación Proyecto		Estatus después de implementación Proyecto		Disminución de CO2 Proyecto Total GUA
	Industria Concreto GUA	Mixto Listo	Industria Concreto GUA	Mixto Listo	
Producción anual	763 000 m3	519 600 m3	763 000 m3	519 600 m3	12 000 Ton
CO2/ año	288 250 Ton	196 235 Ton	274 089 Ton	182 074 Ton	
CO2 del cemento	244 279 Ton	166 300 Ton	232 279 Ton	154 300 Ton	

Fuente: elaboración propia.

6.5.2. Incremento en la rentabilidad de la empresa

En base a la optimización en el uso de cemento encontramos una nueva rentabilidad, medida sobre las ventas.

Como se demostró en el segundo capítulo , la rentabilidad anterior medida mediante el índice de rentabilidad de ventas, se estimó de la siguiente manera:

$$IRV = (\text{Utilidades} / \text{Ventas}) * 100$$

$$IRV = (\text{Q. } 78\,667\,440,00 / \text{Q. } 499\,855\,200,00) * 100$$

$$IRV = 15,7\%$$

En función que la implementación de la metodología no genera impacto alguno sobre las ventas, y genera un ahorro Q. 18 199 353,00, la nueva rentabilidad es:

$$\Delta \text{ Utilidad} = + \text{Q. } 18\,199\,353,00$$

$$\text{IRV} = (\text{Utilidades} / \text{Ventas}) * 100$$

$$\text{IRV} = (\text{Q. } 96\,866\,793,00 / \text{Q. } 499\,855\,200,00) * 100$$

$$\text{IRV} = 19,4\%$$

En función a lo anterior, la rentabilidad sobre ventas incrementa de 15,7% a 19,4%, es decir un 3,7%.

6.6. Sistema de comunicación

La comunicación que se genere a partir de la implementación de los procesos debe de estar enfocada en comunicar los resultados de las auditorías al proceso, las cuales se convertirán en los indicadores predictivos, los resultados de desempeño y las necesidades de refuerzo a los procesos según los resultados obtenidos.

6.6.1. Comunicación de las auditorías al proceso

Las auditorías se realizarán de manera mensual por los ingenieros de Control de Calidad de cada planta, se consolidarán la primera semana de cada mes y se presentarán el segundo lunes del mes a la Gerencia de Operaciones de la compañía.

6.6.2. Comunicación de resultados

Los resultados se consolidarán la primera semana de cada mes y se presentarán el segundo lunes del mes a la Gerencia de Operaciones de la compañía.

Para esta primera reducción de cemento en los diseños de concreto, se presentaron al Comité de Gerencias para informar los buenos resultados que se pueden esperar al hacer sostenibles los diseños nuevos.

6.6.3. Comunicación de las necesidades de refuerzo a procesos

Después de la evaluación inicial, no se considera necesario reforzar los procesos, el cumplimiento del plan anual de capacitaciones para los diferentes grupos de interés, hacen sostenibles los resultados a largo plazo.

CONCLUSIONES

1. Al implementar el sistema de control de la variabilidad de las resistencias de concreto, se pueden obtener ahorros significativos en el costo unitario de los concretos al reducir la cantidad de cemento en los diseños teóricos. Con el primer ajuste aplicado, se obtendrá un ahorro en costos de Q.18 199 353,00, al hacer sostenibles los diseños por un período de 12 meses.
2. Con base en la optimización en el uso de cemento se encontró una disminución de 12 000 Ton de CO₂, es decir una reducción del 4,2% medido sobre el total de CO₂ emitido por la industria de concreto en Guatemala, y un 6.1% basado en el CO₂ emitido por la empresa en estudio.
3. En función a la reducción de costos en materia prima, la rentabilidad sobre ventas incrementa de 15,7% a 19,4%, es decir un 3,7%.
4. Los factores que más impactan en el control y reducción del uso de cemento en los concretos, son aquellos que están asociados con el uso adicional de agua en la mezcla, éstos van desde la mala cuantificación de las humedades de las materias primas, hasta el uso desmedido de agua en las obras por variación entre el *slump* requerido y el obtenido al llegar a los proyectos en ejecución.
5. Para determinar el impacto al medio ambiente de la producción de cemento a nivel nacional e internacional, se utiliza la metodología de

Huella de Carbono, la cual es contabiliza el CO2 equivalente emitido directa o indirectamente durante todo el proceso productivo. Para el caso de la industrial de cementera la relación es de una tonelada de CO2 por cada tonelada de cemento producido, por lo que el implementar de manera eficiente el sistema, permite una reducción del 8% en las emisiones de CO2 actuales.

6. Para poder disminuir la producción de CO2 en el proceso de producción de cemento, ha sido importante trabajar en la investigación de materiales de sustitución de clinker por otros que aporten propiedades de resistencia, tales como las cenizas volantes o escoria. En Guatemala, recientemente se inició este proceso de investigación, por lo que se espera que en los próximos años la industria adopte nuevas materias para la producción de cemento.

RECOMENDACIONES

1. Profundizar el análisis de la utilización de los sistemas automatizados para el control de humedades de los agregados y en los sistemas de control de *slump* y adición extra de agua propuestos por la empresa COMMAND ALKON, proveedora de los sistemas de operación generales utilizados por la empresa, con el fin de facilitar los procesos y el manejo de los indicadores de desempeño.
2. Implementar el Plan de Gestión Ambiental propuesto y monitorear los impactos al medio ambiente de las plantas productoras de concreto para buscar a mediano plazo la certificación LEED de cada una de ellas.
3. Dar continuidad al sistema de capacitaciones propuesto para todos los grupos de interés e incluirlo como parte del plan de inducción general para las nuevas contrataciones.
4. Darle seguimiento a la implementación de los gráficos de control y realizar mejoras para obtener un proceso de producción controlado.
5. Implementar un robusto plan de auditorías que permita hacer sostenibles en el largo plazo los resultados obtenidos en los estudios iniciales.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASOCRETO. *Cartilla José Concreto: Manual de consejos prácticos sobre el concreto*. Colombia: Instituto del Concreto, 2003. 123 p.
2. BANKS, Jerry. *Control de calidad*. México: Limusa, 2002. 665 p.
3. *Conceptos básicos del concreto*. [en línea]. Instituto Mexicano de Cemento y Concreto. México: Agosto 2004. <http://www.imcyc.com/cyt/agosto04/CONCEPTOS.pdf>. [Consulta: 12 de marzo de 2012].
4. *Especificaciones estándar para el concreto premezclado parte 1 y 2*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007. 9 p.
5. KOSMATKA, Steven. *Diseño y control de mezclas de concreto*. EB201. México: Portland Cement Association. 2004. 442 p.
6. *Manual del Técnico (CP-107). Técnico para pruebas al concreto en la obra grado I*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007. 150 p.
7. *Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-07)*. México: Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 2009. 350 p.

