

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

## **TRABAJO PROFESIONAL**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:**

# **INGENIERO INDUSTRIAL**

**QUE PRESENTA:**

**HERNÁN ALFONSO ZÚÑIGA HENRÍQUEZ**

**CON EL TEMA:**

**“ DISEÑO DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE CONCRETO SECO PARA LA  
CONSTRUCCIÓN DE CASA HABITACIÓN Y EDIFICIOS, BASADO EN LOS  $C_p$  Y  $C_{pk}$ ,  
PARA ESTABLECER LOS LÍMITES DE ACEPTACIÓN”**

**MEDIANTE:**

**OPCION  
TITULACIÓN INTEGRAL**

**TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS**

**NOVIEMBRE 2013**



## ÍNDICE

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

|  |          |
|--|----------|
| Introducción.....  | 1        |
| <b>Capítulo 1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>        | <b>2</b> |
| 1.1.- Antecedentes.....                                    | 3        |
| 1.2.- Definición del Problema.....                         | 3        |
| 1.3.- Objetivos.....                                       | 4        |
| 1.3.1.- Objetivo general.....                              | 4        |
| 1.3.2.- Objetivos específicos.....                         | 4        |
| 1.4.- Justificación.....                                   | 5        |
| 1.5.- Alcances y Limitaciones.....                         | 5        |
| 1.4.2.- Limitaciones.....                                  | 5        |
| 1.6.- Impactos.....  | 6        |
| 1.6.1.- Impacto laboral.....                               | 6        |
| 1.6.2.- Impacto social.....                                | 6        |
| 1.6.3.- Impacto económico.....                             | 6        |
| <b>Capítulo 2.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.....</b> | <b>8</b> |
| 2.1.- Descripción de la Empresa.....                       | 9        |
| 2.2.- Misión y Visión.....                                 | 10       |
| 2.2.1. Misión.....   | 10       |

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
 DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



|  |                                    |           |
|--|------------------------------------|-----------|
| 2.2.2. Visión.....   | SECRETARÍA DE<br>EDUCACIÓN PÚBLICA | 10        |
| 2.3.- Valores Corporativos.....  |                                    | 10        |
| 2.4.- Principios del Accionar.....   |                                    | 10        |
| 2.5.- Organización de la Empresa.....  |                                    | 12        |
| 2.6.- Lugar de Ejecución del Proyecto.....                                   |                                    | 13        |
| <b>Capítulo 3.- FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>                                  |                                    | <b>14</b> |
| 3.1.- Antecedentes de la Calidad.....  |                                    | 15        |
| 3.2.- Capacidad y Desempeño del Proceso.....                                 |                                    | 17        |
| 3.2.1.- Objetivos de la Capacidad del Proceso.....                           |                                    | 18        |
| 3.2.2.- Partes Fuera de Especificaciones.....                                |                                    | 19        |
| 3.2.3.- Variación a corto plazo y a largo plazo.....                         |                                    | 20        |
| 3.2.4.- Cálculo de la capacidad del proceso.....                             |                                    | 21        |
| 3.2.5.- Condiciones y fórmulas para el estudio de capacidad del proceso..... |                                    | 21        |
| 3.2.6.- Capacidad a partir de histogramas.....                               |                                    | 22        |
| 3.2.7.- Capacidad a partir de papel normal.....                              |                                    | 23        |
| 3.2.8.- Cálculo de la desviación estándar del proceso.....                   |                                    | 25        |
| 3.2.9.- Otros índices de capacidad del proceso.....                          |                                    | 25        |
| 3.2.10.- Cálculo del desempeño de los procesos.....                          |                                    | 26        |
| 3.2.11.- Capacidad de procesos no normales.....                              |                                    | 28        |





|  |    |
|--|----|
| 3.2.12- Capacidad de procesos por atributos.....                       | 28 |
| 3.2.13- Tabla de constantes para el cálculo de límites de control..... | 29 |
| 3.3.- Distribución Normal.....   | 31 |
| 3.3.1.- Aptitud del Proceso .....                                      | 31 |
| 3.4.- Índice Cp.....   | 32 |
| 3.5.- Índice Cpk.....  | 33 |
| 3.6.- Capacidad de Maquina Cmk.....                                    | 34 |
| 3.7.- Cartas de Control.....   | 34 |
| 3.7.1.- Objetivo de los Gráficos.....                                  | 35 |
| 3.7.2.- Límites de control.....  | 36 |
| 3.8.- Análisis FODA.....   | 37 |
| 3.8.1.- Análisis Externo.....  | 39 |
| 3.8.2.- Matriz FODA.....   | 41 |
| 3.9.- Diagrama de Ishikawa.....  | 42 |
| 3.9.1.- Kaoru Ishikawa.....  | 43 |
| 3.9.2.- Causa.....   | 46 |
| 3.9.3.- Procedimiento.....   | 47 |
| 3.10.- Antecedentes del Concreto.....                                  | 49 |
| 3.11.- El Concreto.....  | 49 |

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
 DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



|   |    |
|---|----|
| 3.12.- Ingredientes del Concreto.....                               | 52 |
| 3.13.- Cementantes en General.....                                  | 53 |
| 3.14.- Cementos con Clinker Portland.....                           | 54 |
| 3.14.1.- Cementos Portland simples, mezclados y expansivos.....     | 54 |
| 3.14.2.- Otros cementos con Clinker Portland.....                   | 56 |
| 3.14.3.- Cemento blanco.....  | 56 |
| 3.14.4.- Cemento para pozo petrolero.....                           | 56 |
| 3.14.5.- Cemento de mampostería.....                                | 57 |
| 3.15.- Selección del Cemento Apropriado.....                        | 57 |
| 3.15.1.- Disponibilidad en el mercado nacional.....                 | 57 |
| 3.15.2.- Características esenciales del cemento.....                | 58 |
| 3.15.3.- Composición química.....                                   | 58 |
| 3.15.4.- Finura de molienda.....                                    | 60 |
| 3.15.5.- Cementos recomendables por sus efectos en el concreto..... | 63 |
| 3.15.6.- Pérdida de revenimiento.....                               | 65 |
| 3.15.7.- Asentamiento y sangrado.....                               | 66 |
| 3.15.8.- Generación de calor.....                                   | 70 |
| 3.15.9.- Resistencia al ataque de los sulfatos.....                 | 72 |
| 3.15.10.- Estabilidad volumétrica.....                              | 73 |

SECRETARÍA DE  
 EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**



|  |     |
|--|-----|
| 3.15.11.- Estabilidad química.....             | 73  |
| 3.16.- Agua para Concreto y sus Usos.....      | 74  |
| 3.17.- Requisitos para Calidad.....            | 75  |
| 3.17.1.- Características físico-químicas.....  | 75  |
| 3.17.2.- Efectos en el concreto.....           | 77  |
| 3.18.- Verificación de Calidad.....            | 77  |
| 3.19.- Agregados para Concreto.....            | 79  |
| 3.19.1.- Clasificación de Agregados.....       | 80  |
| 3.19.2.- Características de los Agregados..... | 85  |
| 3.19.3.- Agregado fino.....                    | 87  |
| 3.20.- Materiales Contaminantes.....           | 90  |
| 3.21.- Tamaño Máximo de las Partículas.....    | 94  |
| 3.22.- Aditivos para el Concreto.....          | 96  |
| 3.22.1.- Usos de los Aditivos.....             | 96  |
| 3.23.- Propiedades Mecánicas del Concreto..... | 98  |
| 3.24.- Peso Unitario del Concreto Fresco.....  | 99  |
| 3.25.- Temperatura del Concreto Fresco.....    | 100 |
| 3.26.- Concreto Recién Mezclado.....           | 100 |
| 3.26.1.- Mezclado.....                         | 101 |

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
 DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



|   |                                    |     |
|---|------------------------------------|-----|
| 3.26.2.- Trabajabilidad.....                                  | SECRETARÍA DE<br>EDUCACIÓN PÚBLICA | 101 |
| 3.26.3.- Consolidación.....                                   |                                    | 102 |
| 3.26.4.- Hidratación, Tiempo de Fraguado, Endurecimiento..... |                                    | 103 |
| 3.27.- Concreto Endurecido.....                               |                                    | 103 |
| 3.27.1.- Curado Húmedo.....                                   |                                    | 103 |
| 3.27.2.- Velocidad de Secado del Concreto.....                |                                    | 104 |
| 3.27.3.- Peso Unitario.....                                   |                                    | 105 |
| 3.27.4.- Resistencia a Congelación y Deshielo.....            |                                    | 106 |
| 3.27.5.- Permeabilidad y Hermeticidad.....                    |                                    | 107 |
| 3.27.6.- Resistencia al Desgaste.....                         |                                    | 107 |
| 3.27.7.- Estabilidad Volumétrica.....                         |                                    | 108 |
| 3.27.8.- Control de Agrietamiento.....                        |                                    | 109 |
| 3.27.9.- Agua de Mezclado Para el Concreto.....               |                                    | 109 |
| 3.27.10.- Carbonatos y Bicarbonatos Alcalinos.....            |                                    | 109 |
| 3.27.11.- Cloruros.....                                       |                                    | 110 |
| 3.28.- Concreto Preforzado.....                               |                                    | 111 |
| 3.28.1.- Otras Sales Comunes.....                             |                                    | 111 |
| 3.28.2.- Sales de Hierro.....                                 |                                    | 111 |
| 3.28.3.- Diversas Sales Inorgánicas.....                      |                                    | 111 |

101  
**SEP**

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
 DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



|   |                                    |     |
|---|------------------------------------|-----|
| 3.28.4.- Agua de Mar.....                                     | SECRETARÍA DE<br>EDUCACIÓN PÚBLICA | 112 |
| 3.28.5.- Aguas Ácidas.....                                    |                                    | 112 |
| 3.28.6.- Aguas Alcalinas.....                                 |                                    | 113 |
| 3.28.7.- Aguas de Enjuague.....                               |                                    | 113 |
| 3.28.8.- Aguas de Desperdicios Industriales.....              |                                    | 113 |
| 3.28.9.- Aguas Negras.....                                    |                                    | 114 |
| 3.28.10.- Impurezas Orgánicas.....                            |                                    | 114 |
| 3.28.11.- Azúcar.....   |                                    | 114 |
| 3.28.12.- Sedimentos o Partículas en Suspensión.....          |                                    | 115 |
| 3.29.- Granulometría.....                                     |                                    | 116 |
| 3.29.1.- Granulometría de los Agregados Finos.....            |                                    | 117 |
| 3.29.2.- Granulometría de los Agregados Gruesos.....          |                                    | 118 |
| 3.29.3.- Agregado con Granulometría Discontinua.....          |                                    | 119 |
| 3.29.4.- Forma de Partícula y Textura Superficial.....        |                                    | 120 |
| 3.29.5.- Peso Volumétrico y Vacíos.....                       |                                    | 121 |
| 3.29.6.- Peso Específico.....                                 |                                    | 121 |
| 3.30.- Absorción y Humedad Superficial.....                   |                                    | 121 |
| 3.30.1.- Proporcionamiento de Mezclas de Concreto Normal..... |                                    | 122 |
| 3.30.2.- Elección de las Características de la Mezcla.....    |                                    | 123 |

112  
**SEP**



|   |     |
|---|-----|
| 3.31.- Ventajas y Desventajas del Concreto..... | 124 |
|---|-----|

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

124  
**SEP**

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>Capítulo 4.- METODOLOGÍA.....</b> | <b>125</b> |
|--------------------------------------|------------|

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 4.1.- Diagnóstico Situacional..... | 126 |
|------------------------------------|-----|

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.1.- Análisis de Proceso Actual..... | 127 |
|---|-----|

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.1.1.- Descripción de Proceso de Fabricación..... | 127 |
|--|-----|

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.2.- Diagrama de distribución de la empresa..... | 128 |
|---|-----|

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.3.- Diagrama de Ishikawa del proceso de producción..... | 129 |
|---|-----|

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.4.- Dosificación Inicial del Concreto..... | 130 |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.5.- Características del Concreto Seco..... | 131 |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.5.1.- Resistencia 150 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 131 |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.5.2.- Resistencia 200 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 131 |
|--|-----|

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.5.3.- Resistencia 250 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 132 |
|--|-----|

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 4.1.6.- Análisis FODA..... | 132 |
|----------------------------|-----|

|   |     |
|---|-----|
| 4.2.- Identificación de Puntos de Mejora..... | 134 |
|---|-----|

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 4.2.1.- Etapa de Recepción..... | 134 |
|---------------------------------|-----|

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 4.2.2.- Etapa de Pesado..... | 134 |
|------------------------------|-----|

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 4.2.3.- Etapa de Sellado..... | 135 |
|-------------------------------|-----|

|   |     |
|---|-----|
| 4.2.4.- Etapa de Verificación de Calidad..... | 135 |
|---|-----|

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 4.3.- Secuencia de las Mejoras..... | 135 |
|-------------------------------------|-----|



|   |            |
|---|------------|
| <b>Capítulo 5.- PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN.....</b>                                    | <b>138</b> |
| 5.1.- Determinación de Estándares de Dosificación de Concreto Seco.....                 | 139        |
| 5.2.- Elaboración de Pruebas de Calidad.....  | 143        |
| 5.2.1.- Pruebas de Revenimiento.....  | 143        |
| 5.2.2.- Pruebas de Compresión de Especímenes de Concreto.....                           | 145        |
| 5.3.- Elaboración de Estadísticos de Calidad.....                                       | 146        |
| 5.3.1.- Gráficos de Control.....  | 147        |
| 5.3.2.- Estimación de la Desviación Estándar " $\sigma$ ".....                          | 149        |
| 5.3.3.- Cálculo de Índices de Capacidad del Proceso " $C_p$ ".....                      | 150        |
| 5.3.3.1.- Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 150 kg/cm <sup>2</sup> .. | 150        |
| 5.3.3.2.- Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 200 kg/cm <sup>2</sup> .. | 150        |
| 5.3.3.3.- Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 250 kg/cm <sup>2</sup> .. | 150        |
| 5.3.4.- Cálculo de Índices de Capacidad del Proceso " $C_{pk}$ ".....                   | 151        |
| 5.3.4.1.- Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 150 kg/cm <sup>2</sup> .. | 151        |
| 5.3.4.2.- Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 200 kg/cm <sup>2</sup> .. | 151        |
| 5.3.4.3.- Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 250 kg/cm <sup>2</sup> .. | 152        |
| 5.4.- Análisis de Resultados.....   | 152        |
| 5.4.1.- Estimación de la Capacidad Potencial del Proceso.....                           | 153        |
| 5.4.2.- Presentación de Dosificación Estándar.....                                      | 153        |



|   |            |
|---|------------|
| <b>Capítulo 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> | <b>154</b> |
| 6.1.- Conclusiones.....                                 | 155        |
| 6.2.- Recomendaciones.....                              | 156        |
| <b>ANEXOS.....</b>                                      | <b>157</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                | <b>193</b> |

### ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 3.1 Constantes para Límites de Control X-S.....                                     | 29  |
| Tabla 3.2 Constantes para Límites de Control X-R.....                                     | 30  |
| Tabla 3.3 Descripción FODA.....   | 39  |
| Tabla 3.4 Matriz FODA.....  | 41  |
| Tabla 4.1 Dosificación de Concreto Seco.....  | 129 |
| Tabla 4.2 Análisis FODA.....  | 131 |
| Tabla 4.3 Diagrama de Actividades.....  | 135 |
| Tabla 5.1 Análisis Granulométrico de Grava.....   | 138 |
| Tabla 5.2 Análisis Granulométrico de Arena.....   | 139 |
| Tabla 5.3 Dosificación de Concreto Seco Propuesta.....                                    | 141 |
| Tabla 5.4 Resultado de Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 150 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 142 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabla 5.5 Resultado de Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 200 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 143 |
| Tabla 5.6 Resultado de Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 250 kg/cm <sup>2</sup> ..... | 143 |
| Tabla 5.7 Resultado de Pruebas de Compresión Concreto Seco 150 kg/cm <sup>2</sup>         | 144 |
| Tabla 5.8 Resultado de Pruebas de Compresión Concreto Seco 200 kg/cm <sup>2</sup>         | 144 |
| Tabla 5.9 Resultado de Pruebas de Compresión Concreto Seco 250 kg/cm <sup>2</sup>         | 145 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 Organigrama de Concretos Miceli.....           | 11 |
| Figura 2.2 Localización de Concretos Miceli.....          | 12 |
| Figura 3.1 Gráfica de Límites de Especificación.....      | 18 |
| Figura 3.2 Gráfica de Partes fuera de Especificación..... | 18 |
| Figura 3.3 Gráfica de Variación a Corto Plazo.....        | 19 |
| Figura 3.4 Gráfica de Variación a Largo Plazo.....        | 19 |
| Figura 3.5 Gráfica de Predicción.....                     | 20 |

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.1 Secuencia de Proceso de Concreto Seco.....                                | 125 |
| Figura 4.2 Distribución de Planta Concretos Miceli.....                              | 128 |
| Figura 4.3 Diagrama de Ishikawa.....   | 129 |
| Figura 5.1 Curva Granulométrica Grava.....   | 138 |
| Figura 5.2 Curva Granulométrica Arena.....   | 140 |
| Figura 5.3 Gráfico de Pruebas de Compresión Concreto Seco 150 kg/cm <sup>2</sup> ... | 146 |
| Figura 5.4 Gráfico de Pruebas de Compresión Concreto Seco 200 kg/cm <sup>2</sup> ... | 147 |
| Figura 5.5 Gráfico de Pruebas de Compresión Concreto Seco 250 kg/cm <sup>2</sup> ... | 148 |

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



## INTRODUCCIÓN

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

Concretos Miceli S.A. de C.V. es una empresa chiapaneca dedicada a la producción y distribución de concreto premezclado. Con el paso de los años se ha ido desarrollando y su mercado se ha extendido a lo largo del estado.

Para la elaboración de este proyecto en el seguimiento del desarrollo del nuevo producto “Concreto Seco” la empresa comprende ramas de la ingeniería que se ocupan del desarrollo, mejora, implantación y evaluación de sistemas integrados de gente, dinero y procesos. También trata con el diseño de nuevos prototipos para ahorrar dinero y hacerlos mejores.

Usando los principios de la ingeniería industrial que están contruidos sobre los principios y métodos del análisis y síntesis de la ingeniería y el diseño para especificar, predecir y evaluar los resultados obtenidos de tales sistemas. En la manufactura esbelta, los ingenieros industriales trabajan para eliminar desperdicios de todos los recursos.

Dar un buen uso a estos conocimientos es parte fundamental de un estudio y análisis más profundo que conlleve a la mejora en planeación y control, es indispensable para los ingenieros industriales dominar y abarcar conocimientos de otras ciencias, para extender su trabajo a otras dimensiones.

Para desarrollar un proceso de mejoramiento continuo y un proceso adecuado es necesario tener bases solidas y controladas que permitan el cambio e implementación de nuevas medidas de mejoramiento y que beneficien el método de trabajo de la mejor manera. Es por ello, que el uso adecuado e implementado

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



de la capacidad del proceso Cp y Cpk, es fundamental para dar hincapié a los principios de cambios y mejoras que necesiten darse en una empresa, ya sea para mejorar sus procesos o para salvaguardar la integridad de esta.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

# CAPÍTULO 1

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 ANTECEDENTES

El concreto seco está clasificado como un tipo que busca suplir la rigidez y limitación a que son sometidos los usuarios; las grandes empresas concreteras están preparadas a superar el incómodo y poco confiable concreto preparado en la obra.

Es una mezcla seca y homogénea entre los concretos, compuesta por cemento, grava y arena con granulometría controlada, cuyas cantidades y proporciones varían según las características requeridas en el producto final. Donde se garantiza a los usuarios la calidad, resistencia, comodidad, versatilidad y optimización, que otro tipo de concretos no le ofrecen, ni le garantizan.



Actualmente, este concreto se produce y comercializa en algunas partes del mundo y algunos estados de México, sin embargo, Chiapas es uno de los estados que no ha sido aprovechado para la distribución de este tipo de producto.

El concreto premezclado es la gran solución en el ramo de la construcción debido a su dureza, manejabilidad y diversidad de usos, lo vemos en edificios, vialidades urbanas, carreteras, puentes y demás, por lo tanto se convierte en una necesidad social.

## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Concretos Miceli S.A. de C.V. actualmente desarrolla el producto, pero el proceso usado es deficiente en cuanto al aprovechamiento de los recursos, además de ser un procedimiento donde el número de elementos defectuosos es alto, puesto que no se alcanza la resistencia mínima esperada.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivos Generales

- Desarrollar un proceso de preparación de concreto seco, que sea adecuado y cumpla con las normas y especificaciones requeridas, para determinar los límites de aceptación en las dosificaciones de los materiales.

### 1.3.2 Objetivos Específicos



- Cumplir con las normas vigentes para el concreto.
- Mejorar el proceso de producción.
- Reducir en un 10% desperdicios.
- Disminuir en un 30% productos defectuosos.
- Simplificar el proceso productivo.
- Reducir el stock en el almacén para la recepción de agregados enviados por proveedores.
- Mejorar red de información con la finalidad de crear un proceso más flexible y ágil.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN

La flexibilidad, manejabilidad y practicidad son elementos indispensables y de gran valor en cualquier tipo de construcción. La idea principal y el concepto de diseñar un proceso para el concreto seco es facilitar la producción y la construcción, permitiendo optimizar los recursos tangibles e intangibles que posee cualquier empresa, como:

- Tiempo trabajador
- Tiempo proceso
- Tiempo obra
- Dinero
- Desperdicios
- Espacio en obra

Garantizando así en un saco de concreto seco la calidad, resistencia, y comodidad, que otros tipos no puedan ofrecer, ni garantizar.



Asegurando la homogeneidad de la mezcla se brinda las siguientes características al producto:

- Consumo constante de agua de preparación.
- Las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido son constantes presentando una muy pequeña variabilidad.
- Rendimiento constante del material.

## 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Con este proyecto se pretende alcanzar la reducción de tiempo en cuestión de proceso además de concentrar la información técnica en la parte de coordinadores de producción para la fácil comprensión en los cambios de los diferentes tactos.

Al igual que el de mejorar significativamente los tiempos de mantenimiento que daría un claro avance en la producción de las unidades que involucra en forma directa al incremento de la productividad de la empresa.

Los alcances de diseñar un proceso de preparación de mezcla de concreto seco son:

- Aumentar la gama de productos dentro de la empresa
- Aumentar la competitividad alcanzando nuevos mercados

Las limitaciones del proyecto son:



- Falta de recursos para implementar las mejoras.
- Resistencia al cambio por parte del personal de producción.
- Tiempo de 6 meses insuficiente para comprender las actividades de cada miembro del organigrama de la empresa.
- Resistencia al cambio por parte de los gerentes ocasionando retroceso en las mejoras.

## 1.6 IMPACTOS

### 1.6.1 Impacto Laboral

Mejorar la manera de trabajar, realizando un proceso más eficiente. De esta forma lograr un cambio dentro del personal, capacitándolos y alcanzando el desarrollo de habilidades que permitan un mejor desempeño.

### 1.6.2 Impacto Social

El impacto social se muestra en todos los niveles económicos, logrando un concreto de fácil uso que llegue a un amplio mercado; facilitando de esta forma la construcción de casas-habitaciones y edificios.

### 1.6.3 Impacto Económico

Reducir los costos de producción, al eliminar los desperdicios y los productos defectuosos. La empresa se ve beneficiada a nivel estatal por el hecho

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



de contar con la proyección que lo mantiene como el mayor proveedor de concreto seco en el estado consiguiendo grandes cantidades de efectivo.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

#### 1.6.4 Impacto Tecnológico

La empresa será abastecida por diferentes proveedores para garantizar la producción de las unidades, para esto la organización se verá beneficiada al implementar nueva instrumentaría que mejorará en gran medida la fabricación.

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

## **CAPÍTULO 2**

### **DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA**



## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

### 2.1 ANTECEDENTES

Concretos Miceli S.A. de C.V. es una empresa chiapaneca dedicada a brindar soluciones en concreto y agregados. Fundada en el año 2011, la empresa se ha consolidado como una de las principales proveedoras de soluciones en concreto y agregados en los sectores vivienda, minería e infraestructura a nivel nacional. Es una empresa concretera "independiente", es decir, no cuenta con relación directa con ninguna empresa cementera, lo cual le permite libertad para adquirir el cemento del distribuidor que ofrezca el mejor producto en las mejores condiciones y por lo tanto operar con flexibilidad a nivel estatal.

Desde el inicio de sus operaciones, el compromiso de Miceli hacia sus clientes ha sido el entregar productos y servicios de alta calidad, para lo cual se rigen bajo los más altos estándares internacionales de la industria. Si bien es conocida principalmente por la producción y distribución de concreto premezclado en Tuxtla Gutiérrez, Concretos Miceli cuenta con unidades de negocio de gran importancia y competitividad para satisfacer las necesidades del sector construcción.

Concretos Miceli participa activamente en la línea de Proyectos, la cual suministra concreto y agregados a clientes en grandes proyectos de



infraestructura, requiriendo de altos volúmenes con complejas especificaciones tanto de concreto como de agregados. Miceli cuenta con maquinaria de última generación para atender los estrictos requerimientos característicos de esta línea de negocio.

Finalmente, cuenta con la unidad de negocio de Productos Terminados, compuesta por la nueva línea de mezclas secas embolsadas.

## 2.2 MISIÓN Y VISIÓN

### 2.2.1 Misión

Brindar al mercado de la construcción los más altos estándares de calidad en productos y servicios, mejorando continuamente el nivel de vida de: los colaboradores, los accionistas y la sociedad, en armonía con el medio ambiente.

### 2.2.2 Visión

Ser líderes en nuestros mercados meta en la producción y comercialización de productos derivados de concreto.

## 2.3 VALORES CORPORATIVOS

- Espíritu constructivo
- Respeto a los demás
- Lealtad



- Excelencia en el logro de objetivos
- Profesionalismo
- Honestidad

## 2.4 PRINCIPIOS DEL ACCIONAR

### *Integridad y respeto*

Trabajar con integridad personal y respeto por las personas, la sociedad y el medio ambiente.

### *Ayuda mutua*

Conseguir el éxito en nuestros objetivos no es la responsabilidad de una sola persona, si nos ayudamos mutuamente todos lograremos alcanzar nuestras metas.

### *Superación constante*

Una actitud positiva de permanente superación nos permitirá ser cada día mejores como personas, como trabajadores y como empresa.

### *Orientación al mejor desempeño*

Si ponemos todo nuestro esfuerzo en hacer las cosas del mejor modo, con eficiencia, el resultado final deberá ser siempre el mejor.

### *Clara responsabilidad*

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



Tener siempre presente que somos personalmente responsables de hacer bien nuestro trabajo.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### *Poder de las ideas*

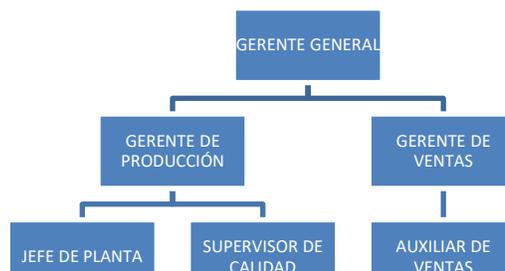
Tener buenas ideas y llevarlas a la práctica es siempre un poderoso desafío que nos alienta a desarrollar y poner en práctica toda nuestra capacidad.

### *Cultura del ahorro*

El uso responsable de los recursos conduce a menores costos haciéndonos más competitivos y ambientalmente responsables.

## 2.5 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

La empresa se encuentra organizada de manera lineal, donde el puesto principal lo ocupa el gerente general. Ver **figura 2.1**.



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



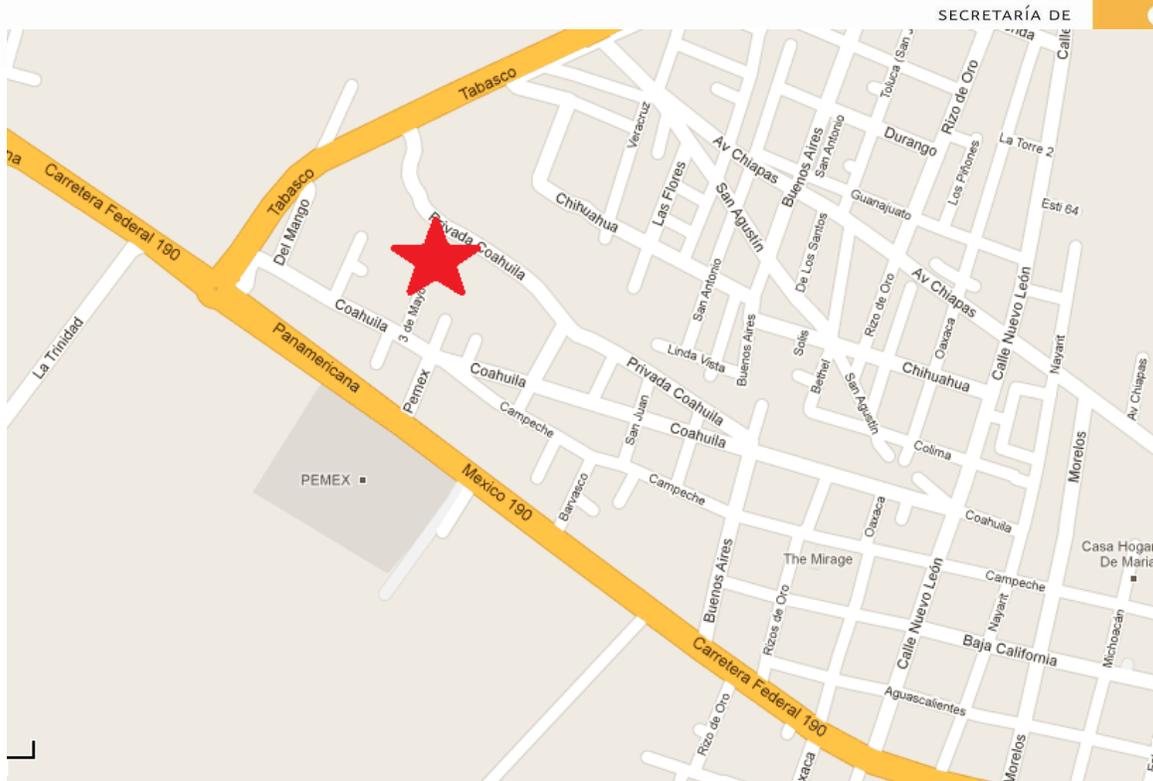
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

**Figura 2.1.** Organigrama de Concretos Miceli (Fuente: Concretos Miceli)

## 2.6 LUGAR DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa “Concretos Miceli S.A. de C.V.” ubicado en Privada Coahuila s/n Manzana 107 Lote 10 en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Ver **figura 2.2**



**Figura 2.2.** Localización de Concretos Miceli (Fuente: Google Maps)

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

# CAPÍTULO 3

## FUNDAMENTO TEÓRICO



### 3. FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 3.1 ANTECEDENTES DE LA CALIDAD

Según el control de calidad, hasta fines del siglo XIX se caracterizó por ser realizado totalmente por los operarios, lo que denominó Control de Calidad del Operario. Posteriormente en el período de la Primera Guerra Mundial se dio el Control de Calidad del Capataz y entre las dos guerras aparece el Control de Calidad por Inspección o lo que conocemos como: el Control de Calidad Moderno.

##### *El control de calidad moderno*

En 1931, Walter Shewhart publicó "Economic control of quality of manufactured products" (Control económico de la calidad de productos manufacturados), mencionado por Concretos Miceli (2011), donde se plantean los principios básicos del control de la calidad sobre la base de métodos estadísticos, centrándose en el uso de Cuadros de Control. Convirtiéndose así en el padre del Control de Calidad Moderno (aunque algunos autores dan esta paternidad a Deming, debemos considerar que los estudios de Deming se basaron inicialmente en los de Shewhart).

Después del aporte de Shewhart, menciona Concretos Miceli (2011), que en 1941 y 1942 se aprobaron y publicaron los "Estándares Z" conocidos como los estándares de la Guerra, que enfocaban el uso de los Cuadros de Control para el análisis de datos y su aplicación durante la producción. Y también en 1941 Leslie E. Simons publicó "Un Manual de Métodos Estadísticos para Ingenieros".



Estos tres aportes eran los únicos con que se contaba en el campo del control de calidad durante los años cuarenta en el mundo occidental, donde hasta ese momento la calidad y el mejoramiento no tenían ninguna importancia para las empresas. Sino hasta 1947, en que un grupo de empleados de Johns-Manville terminaron de rodar y editar un video llamado "Control de Calidad Moderno" con el objetivo de promover los aspectos básicos del control de calidad en su empresa entre los empleados e indirectamente a la gerencia: cuadros de control, histogramas, límites para gráficos de barras y cuadros R, así como muestreo. Fue tan exitoso, que trascendió a la empresa y fue utilizado en muchas otras durante décadas. Sin embargo, la concientización real sobre la importancia de la calidad no se asentó en occidente sino hasta los años 80.

### *Calidad en el Japón*

Menciona Concretos Miceli (2011), que después de la Guerra Mundial, el Japón se encontraba frente a la nada fácil tarea de reconstruir su país. En aquel momento, las fuerzas de ocupación de los EE.UU., decidieron apoyar en la reconstrucción de la economía y la infraestructura de manera directa, con el objetivo de evitar que el Japón recuperara su capacidad bélica. Llevaron al Japón un importante número de expertos estadounidenses para ayudar en la labor, pero antes de esto, debían ganar la confianza de los japoneses, quienes aún los veían como los enemigos. Para ello crearon la C.C.S. (Civil Communication Section), que debería difundir mensajes pro.EE.UU. en la población, entre otros a través de programas de radio.



Lamentablemente, la población no contaba con radios. Se construyeron establecimientos industriales orientados a la fabricación de radios, pero luego de la guerra, los administradores experimentados del Japón fueron alejados de puestos de esta naturaleza por su labor durante la guerra y el personal con el que se contaba carecía de formación y experiencia, por lo que el resultado fue productos de bajísima calidad.

Para apalear este problema se creó el NETL (National Electric Testing Laboratory), menciona Concretos Miceli (2011), con la responsabilidad de controlar la calidad. Sin embargo, poco tiempo después se reconoció que esta estrategia nunca alcanzaría buenos resultados en el largo plazo, así que se reorientaron los esfuerzos hacia la capacitación de esta nueva generación de administradores. Programa que se realizó conjuntamente por la CCS y la JUSE (Unión de Científicos e Ingenieros del Japón).

### *El control estadístico de la calidad*

Entre los temas de la capacitación, se incluyó el Control Estadístico de la Calidad (SQC - Statistical Quality Control) y especialmente los aportes en este campo de Walter Shewhart, menciona Concretos Miceli (2011). La JUSE vio en esta temática una razón, tal vez la principal, de la victoria de los EEUU en la guerra y orientó su interés hacia este campo, solicitando a la CCS que les recomendará a expertos que pudieran profundizar y reforzar el tema.

En aquel entonces Shewhart no estaba disponible, así que recomendaron a un profesor de la Universidad de Columbia, que había estudiado y aplicado los métodos de Shewhart, W. Edwards Deming. Menciona Concretos Miceli (2011),



que ya en 1947 Deming había estado en el Japón como parte de una misión de observación económica, por lo que los japoneses ya lo conocían, facilitando su incorporación como instructor. En 1950, durante dos meses, Deming entrenó a cientos de ingenieros y administradores, así como a ejecutivos de primer nivel, enfocándose principalmente en tres aspectos claves: el ciclo PHV A las causas de las variaciones el control de procesos con Cuadros de Control.

### 3.2 CAPACIDAD Y DESEMPEÑO DEL PROCESO

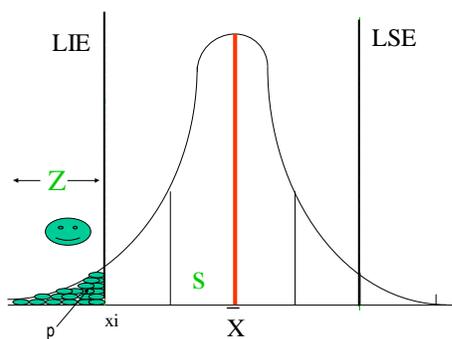
Al planear los aspectos de calidad de la manufactura, es sumamente importante asegurarse de antemano de que el proceso será capaz de mantener las tolerancias, menciona Montgomery (1991). En las décadas recientes ha surgido el concepto de capacidad del proceso o habilidad del proceso, que proporciona una predicción cuantitativa de qué tan adecuado es un proceso. La habilidad del proceso es la variación medida, inherente del producto que se obtiene en ese proceso.

- *Proceso*: Éste se refiere a alguna combinación única de máquinas, herramientas, métodos, materiales y personas involucradas en la producción.
- *Capacidad o habilidad*: Esta palabra se usa en el sentido de aptitud, basada en el desempeño probado, para lograr resultados que se puedan medir.
- *Capacidad del proceso*: Es la aptitud del proceso para producir productos dentro de los límites de especificaciones de calidad.
- *Capacidad medida*: Esto se refiere al hecho de que la capacidad del proceso se cuantifica a partir de datos que, a su vez, son el resultado de la medición del trabajo realizado por el proceso.

- *Capacidad inherente:* Se refiere a la uniformidad del producto que resulta de un proceso que se encuentra en estado de control estadístico, es decir, en ausencia de causas especiales o atribuibles de variación.
- *Variabilidad natural:* Los productos fabricados nunca son idénticos sino que presentan cierta variabilidad, cuando el proceso está bajo control, solo actúan las causas comunes de variación en las características de calidad.
- *Valor Nominal:* Las características de calidad tienen un valor ideal óptimo que es el que deseamos que tuvieran todas las unidades fabricadas pero que no se obtiene, aunque todo funcione correctamente, debido a la existencia de la variabilidad natural.

### 3.2.1 Objetivos de la capacidad del proceso

1. Predecir en qué grado el proceso cumple especificaciones.
2. Apoyar a diseñadores de producto o proceso en sus modificaciones.
3. Especificar requerimientos de desempeño para el equipo nuevo.
4. Seleccionar proveedores.
5. Reducir la variabilidad en el proceso de manufactura.
6. Planear la secuencia de producción cuando hay un efecto interactivo de los procesos en las tolerancias. Ver figura 3.1.

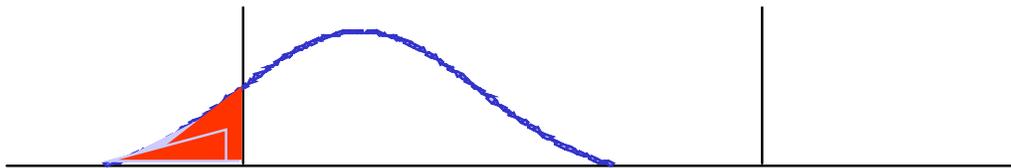


**Figura 3.1.** Gráfica de Límites de Especificación (Fuente: Elaboración Propia)

+p = porcentaje de medidas bajo la curva de probabilidad fuera de especificaciones.

### 3.2.2 Partes fuera de especificaciones

En el área sombreada observamos medidas fuera de los límites de especificación. Ver figura 3.2.



**Figura 3.2.** Gráfica de Partes fuera de Especificación (Fuente: Montgomery; 1991)

Para solucionar este problema, se reduciría la desviación estándar.

También es factible cambiar la media.

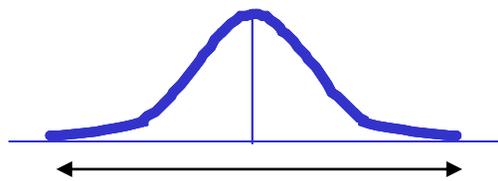
Lo ideal sería, por supuesto cambiar ambas.

### 3.2.3 Variación a corto plazo y a largo plazo

Existen dos maneras de expresar la variabilidad:

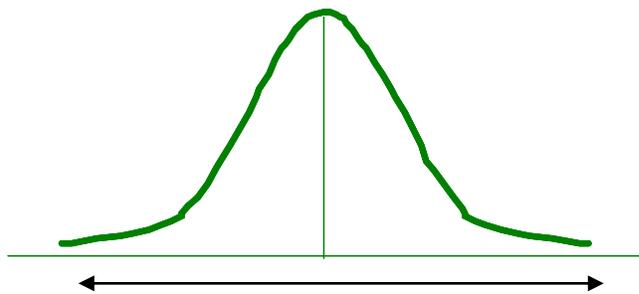
Variación a corto plazo ( $Z_{st}$ ) – Los datos son colectados durante un periodo de tiempo suficientemente corto para que sea improbable que haya cambios y otras causas especiales.

Las familias de variación han sido restringidas de tal manera que los datos considerados, sólo son los que se obtuvieron del subgrupo racial. Ayuda a determinar subgrupos raciales importantes.



**Figura 3.3.** Gráfica de Variación a Corto Plazo (Fuente: Montgomery; 1991)

Variación a Largo Plazo ( $Z_{lt}$ ) – Los datos son colectados durante un periodo de tiempo suficientemente largo y en condiciones suficientemente diversas para que sea probable que incluya todos los cambios de proceso y otras causas especiales. Aquí todas las familias de variación exhiben su contribución en la variación del proceso general.



**Figura 3.4.** Gráfica de Variación a Largo Plazo (Fuente: Montgomery 1991)

En el caso del corto plazo:

Para el cálculo de  $Z$  utilizamos las siguientes formulas:



$$Z_{st} = \frac{(\text{límite especif.} - \text{nom.})}{\text{desv.std}_{ST}}$$

$$Z_{LT} = \frac{\text{límite especif.} - \text{media}}{\text{desv.std}_{LT}}$$

Dónde:

Zst = variación a corto plazo.

nom = Valor nominal u objetivo

Zlt = variación a largo plazo.

### 3.2.4 Cálculo de la capacidad del proceso

Antes de calcular la capacidad del proceso, el proceso debe estar en control estadístico.

### 3.2.5 Condiciones y fórmulas para el estudio de capacidad del proceso

Como menciona Montgomery (1991), para realizar un estudio de capacidad es necesario que se cumplan los siguientes supuestos:

- El proceso se encuentre bajo control estadístico, es decir sin la influencia de fuerzas externas o cambios repentinos. Si el proceso está fuera de control la media y/o la desviación estándar del proceso no son estables y,



en consecuencia, su variabilidad será mayor que la natural y la capacidad potencial estará infravalorada, en este caso no es conveniente hacer un estudio de capacidad.

- Se recolectan suficientes datos durante el estudio de habilidad para minimizar el error de muestreo para los índices de habilidad. Si los datos se componen de menos de 100 valores, entonces deben calcularse los límites de confianza inferiores.
- Los datos se recolectan durante un periodo suficientemente largo para asegurar que las condiciones del proceso presentes durante el estudio sean representativos de las condiciones actuales y futuras. En el caso de la industria automotriz se especifican 300 partes mínimo.
- El parámetro analizado en el estudio sigue una distribución de probabilidad normal, de otra manera, los porcentajes de los productos asociados con los índices de capacidad son incorrectos y solo se determinarán los índices de desempeño del proceso, que no toma en cuenta si el proceso está en control o no.

También es importante al realizar un estudio de capacidad, asegurarnos que la variación en el sistema de medición no sea mayor al 10%.

Para calcular la habilidad o capacidad potencial, primero se determina la desviación estándar estimada de la población como sigue:

$$\sigma_{st} = \frac{\bar{R}}{d2}$$



$$C_p = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma_{ST}}$$

Dónde:

$C_p$  = capacidad potencial

LSE = límite superior de especificaciones

LIE = límite inferior de especificaciones

$\sigma_{ST}$  = desviación estándar a corto plazo

El índice  $C_p$  debe ser  $\geq 1.33$  para tener el potencial de cumplir con especificaciones (LIE, LSE)

Los valores Z se determinan como sigue:

$$Z_l = \frac{LIE - \bar{X}}{\sigma_{ST}}$$

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma_{ST}}$$

Para calcular la habilidad o capacidad real utilizamos la siguiente fórmula:

$$C_{pk} = \frac{\text{menor}|Z_l, Z_s|}{3}$$

Para que el proceso cumpla con las especificaciones el  $C_{pk}$  debe de ser  $\geq 1.33$ .



### 3.2.6 Capacidad a partir de histogramas

Procedimiento:

1. Seleccionar un proceso específico para realizar el estudio
2. Seleccionar las condiciones de operación del proceso
3. Seleccionar un operador entrenado
4. El sistema de medición debe tener habilidad (error R&R < 10%)
5. Cuidadosamente recolectar la información
6. Construir un histograma de frecuencia con los datos
7. Calcular la media y desviación estándar del proceso
8. Calcular la capacidad del proceso.

### 3.2.7 Capacidad a partir de papel normal

Ventajas

1. Se puede observar el comportamiento del proceso sin tomar tantos datos como en el histograma, 10 son suficientes.
2. El proceso es más sencillo ya que no hay que dividir el rango de la variable en intervalos de clase como en el histograma.
3. Visualmente se puede observar la normalidad de los datos, si se apegan a la línea de ajuste.
4. Permite identificar la media y la desviación estándar aproximada del proceso. Así como la fracción defectiva, el porcentaje de datos entre cierto rango, el Cp y el Cpk.

Procedimiento:



1. Se toman al menos  $n = 10$  datos y se ordenan en forma ascendente, asignándoles una posición ( $j$ ) entre 1 y  $n$ .

2. Se calcula la probabilidad de cada posición con la fórmula siguiente:

$$P_j = (j - 0.5) / n$$

3. En el papel especial normal se grafica cada punto ( $X_j, P_j$ )

4. Se ajusta una línea recta que mejor aproxime los puntos

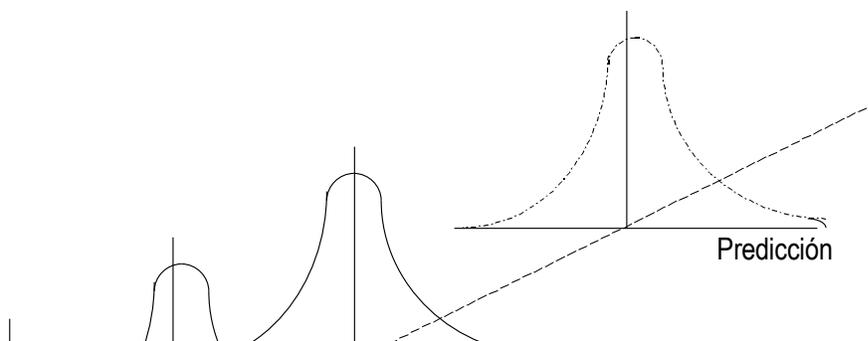
5. Si no hay desviaciones mayores de la línea recta, se considera normal el proceso y se procede a hacer las identificaciones:

La media será el punto en  $X$  correspondiente a  $P_j = 0.5$

La desviación estándar es la diferencia en  $X_j$  correspondiente a  $P_j = 0.5$  y  $P_j = 0.84$

En casos especiales como estos donde las variaciones presentes son totalmente inesperadas tenemos un proceso inestable o impredecible.

Si las variaciones presentes son iguales, se dice que se tiene un proceso “estable”, menciona Bertrand (1989); la distribución será “predecible” en el tiempo.



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



SEP

**Figura 3.5.** Gráfica de Predicción (Fuente: Bertrand 1989)

### 3.2.8 Cálculo de la desviación estándar del proceso

$$\sigma = \frac{R}{d_2} \text{ ó } \sigma = \frac{S}{C_4} \text{ (Para cartas de control X-R y X-S respectivamente)}$$

Dónde:

S = Desviación estándar de la población

d<sub>2</sub> = Factor que depende del tamaño del subgrupo en la carta de control XR

C<sub>4</sub> = Ídem al anterior para una carta X - S

Al final del texto se muestran las constantes utilizadas para las cartas de control.

En una carta por individuales, d<sub>2</sub> se toma para n = 2 y Rango Medio = Suma rangos / (n -1)

### 3.2.9 Otros índices de capacidad del proceso

#### *INDICE DE CAPACIDAD Cpm*

Menciona Montgomery (1991) que el índice de capacidad Cpm es un indicador de capacidad potencial que toma en cuenta el centrado del proceso:

Si  $V = \frac{\bar{X} - T}{\sigma}$  donde T es el centro de las especificaciones.

$$C_{pm} = \frac{Cp}{\sqrt{1+V^2}} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

Cuando T es igual a X media del proceso,  $Cpm = Cp = Cpk$

#### *INDICE DE CAPACIDAD Cpkm*

Es un indicador de capacidad real que toma en cuenta el centrado del proceso, Montgomery (1989):

Si T es el centro de las especificaciones.

$$C_{pkm} = \frac{Cpk}{\sqrt{1 + \left(\frac{\mu - T}{\sigma}\right)^2}}$$

Cuando T es igual a X media del proceso,  $Cpkm = Cpk$



### 3.2.10 Cálculo del desempeño de los procesos

Para determinar el Cp y Cpk como menciona Bertrand (1989) se requiere que el proceso esté en control estadístico, ya que la desviación estándar de la población se estima con Rango medio / d2 (constante que solo es válida cuando el proceso está en control).

Para el caso de datos históricos, el proceso no está en control y se puede determinar el desempeño del proceso utilizando la desviación estándar de todos los datos ajustada con una constante C4, denominada Sigma a largo plazo o desviación estándar Overall.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$C_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$\sigma_{LT} = \frac{S}{C_4}$$

Con la desviación estándar a largo plazo se determinan los índices de desempeño Pp y Ppk no importando si el proceso está en control o no, en este último caso los valores no tienen significado práctico.



Para calcular el desempeño potencial del proceso utilizamos la siguiente fórmula:

$$P_p = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma_{LT}}$$

Dónde:

$P_p$  = Índice de desempeño potencial

LSE = límite superior de especificaciones

LIE = límite inferior de especificaciones

$\sigma_{LT}$  = desviación estándar estimada a largo plazo

El índice  $P_p$  debe ser  $\geq 1.33$  para tener el potencial de cumplir con especificaciones (LIE, LSE)

Las variables transformadas Z's son las siguientes:

$$Z_s = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma_{LT}}$$

$$Z_l = \frac{LIE - \bar{X}}{\sigma_{LT}}$$

Para calcular el índice de desempeño real del proceso utilizamos la siguiente fórmula:



$$P_{pk} = \frac{\text{menor}|Z_L, Z_S|}{3}$$

Para que el proceso cumpla con las especificaciones el  $P_{pk}$  debe de ser  $\geq 1.33$ .

### 3.2.11 Capacidad de procesos no normales

Cuando los datos provienen de poblaciones no normales una opción para realizar el estudio de capacidad de procesos es mediante la distribución Weibull o alguna otra distribución que ajuste a los datos.

### 3.2.12 Capacidad de procesos por atributos

Para el caso de atributos, menciona Bertrand (1989) se tienen varios casos:

#### *a. Fracción defectiva*

Para productos defectivos calificados como pasa no pasa, se obtiene una carta de control p de fracción defectiva con tamaño de muestra constante con al menos 25 puntos, y una vez que está en control, se determina su p media. La capacidad del proceso es 1-P media.

La capacidad del proceso equivalente para un  $C_p$  debe ser de:

- Al menos 99.73% para una capacidad de +- 3 sigmas equivalente a un  $C_p$  de 1



- Al menos de 99.9936% para un acapacidad equivalente a  $\pm 4$  sigmas equivalente a un  $C_p$  de 1.33.
- Para otro valor de  $P$  la capacidad equivalente en sigmas se determina dividiendo el valor de  $P / 2$  y obteniendo el valor de  $Z$  correspondiente a esa área bajo la curva. La capacidad será de  $\pm Z$  sigmas.

*b. Número de defectos*

En este caso se requiere verificar y en todo caso mantener el proceso en control por medio de una carta  $C$  o  $U$  con muestra constante por al menos 25 puntos.

La referencia son el número de defectos  $X$  que el cliente acepte. Con la línea media indicando el promedio de defectos o  $C$  media, entramos a la tabal binomial o de Poisson tomando como  $\lambda$  la  $C$  media y como  $X$  los defectos aceptables por el cliente.

La probabilidad de aceptación mínima debe ser de 99.73% equivalente a un  $C_p$  de 1 o de 99.9936% para un  $C_p$  de 1.33, cualquier valor inferior indicará falta de capacidad del proceso.

3.2.12 Tabla de constantes para el cálculo de límites de control

Las constantes para límites de control en las cartas  $X-R$ , mencionadas por Bertrand (1989) son:

**Tabla 3.1.** Constantes para límites de control  $X-R$  (Fuente: <http://optyestadistica.wordpress.com>)

| n | A2 | D3 |  | D4 |  | d2 |
|---|----|----|--|----|--|----|
|---|----|----|--|----|--|----|



SECRETARÍA DE  
 EDUCACIÓN PÚBLICA  
**SEP**

|    |       |       |  |       |  |       |
|----|-------|-------|--|-------|--|-------|
| 2  | 1.88  | 0     |  | 3.267 |  | 1.128 |
| 3  | 1.023 | 0     |  | 2.574 |  | 1.693 |
| 4  | 0.729 | 0     |  | 2.282 |  | 2.059 |
| 5  | 0.577 | 0     |  | 2.115 |  | 2.326 |
| 6  | 0.483 | 0     |  | 2.004 |  | 2.534 |
| 7  | 0.419 | 0.076 |  | 1.924 |  | 2.704 |
| 8  | 0.373 | 0.136 |  | 1.864 |  | 2.847 |
| 9  | 0.337 | 0.184 |  | 1.816 |  | 2.97  |
| 10 | 0.308 | 0.223 |  | 1.777 |  | 3.078 |

Las constantes para límites de control en las cartas X-S, mencionadas por Bertrand (1989) son:

**Tabla 3.2.** Constantes para límites de control X-S (Fuente: <http://optyestadistica.wordpress.com>)

| n  | c4    | A     | A3    | B3    | B4    | B5    | B6    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5  | 0.940 | 1.342 | 1.427 | 0.000 | 2.089 | 0.000 | 1.964 |
| 6  | 0.952 | 1.225 | 1.287 | 0.030 | 1.970 | 0.029 | 1.874 |
| 7  | 0.959 | 1.134 | 1.182 | 0.118 | 1.882 | 0.113 | 1.806 |
| 8  | 0.965 | 1.061 | 1.099 | 0.185 | 1.815 | 0.179 | 1.751 |
| 9  | 0.969 | 1.000 | 1.032 | 0.239 | 1.761 | 0.232 | 1.707 |
| 10 | 0.973 | 0.949 | 0.975 | 0.284 | 1.716 | 0.276 | 1.669 |
| 11 | 0.975 | 0.905 | 0.927 | 0.321 | 1.679 | 0.313 | 1.637 |
| 12 | 0.978 | 0.866 | 0.886 | 0.354 | 1.646 | 0.346 | 1.610 |
| 13 | 0.979 | 0.832 | 0.850 | 0.382 | 1.618 | 0.374 | 1.585 |



SEP

|    |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 14 | 0.981 | 0.802 | 0.817 | 0.406 | 1.594 | 0.399 | 1.563 |
| 15 | 0.982 | 0.775 | 0.789 | 0.428 | 1.572 | 0.421 | 1.544 |
| 16 | 0.984 | 0.750 | 0.763 | 0.448 | 1.552 | 0.440 | 1.526 |
| 17 | 0.985 | 0.728 | 0.739 | 0.466 | 1.534 | 0.458 | 1.511 |
| 18 | 0.985 | 0.707 | 0.718 | 0.482 | 1.518 | 0.475 | 1.496 |
| 19 | 0.986 | 0.688 | 0.698 | 0.497 | 1.503 | 0.490 | 1.483 |
| 20 | 0.987 | 0.671 | 0.680 | 0.510 | 1.490 | 0.504 | 1.470 |
| 21 | 0.988 | 0.655 | 0.663 | 0.523 | 1.477 | 0.516 | 1.459 |
| 22 | 0.988 | 0.640 | 0.647 | 0.534 | 1.466 | 0.528 | 1.448 |
| 23 | 0.989 | 0.626 | 0.633 | 0.545 | 1.455 | 0.539 | 1.438 |
| 24 | 0.989 | 0.612 | 0.619 | 0.555 | 1.445 | 0.549 | 1.429 |
| 25 | 0.990 | 0.600 | 0.606 | 0.565 | 1.435 | 0.559 | 1.420 |

### 3.3 Distribución Normal

Hay muchas clases de distribuciones y la más común es la “Distribución Normal”, menciona Bertrand (1989). Cuando la variación de una característica de calidad es causada por la suma de un gran número de errores infinitesimales e independientes, debido a diferentes factores, la distribución se aproxima a la normal. La distribución normal puede describirse sencillamente como con forma de campana o montaña, comúnmente llamada “Campana de Gauss”, siendo una de sus principales características que el punto más alto de la campana es la media de los valores y “el ancho de la campana” el rango (Dispersión).

$\bar{x}$  = media aritmética

$\sigma$  = desviación standard



El área bajo la curva comprendida por  $+ 1\sigma$  ocupa el 68,26 % de la superficie total.

El área bajo la curva comprendida por  $+ 2\sigma$  ocupa el 95,44 % de la superficie total.

El área bajo la curva comprendida por  $+ 3\sigma$  ocupa el 99,73 % de la superficie total.

El área bajo la curva comprendida por  $+ 4\sigma$  ocupa el 99,989 % de la superficie total.

### 3.3.1 Aptitud del Proceso

Partimos de la base que nuestra distribución es normal (Gaussiana) y para que los cálculos siguientes sean válidos debemos verificar esta condición primero.

Si nuestro proceso es no apto, menciona Montgomery (1991), se tendrán que implementar importantes cambios para mejorar pues esto refleja variación de las causas comunes, las que casi siempre se deben a fallas del sistema que requieren una acción de la gerencia para corregirlas.

El procedimiento para evaluar la aptitud del proceso comienza una vez que han sido resueltos los problemas que aparecen en los gráficos de control (identificadas las causas especiales y corregidas).

El cálculo de la aptitud que continua está basado en los datos obtenidos en los gráficos de control, el promedio ( $\bar{X}$ ), es considerado como la medida de la posición de la distribución y el desvío estándar ( $\sigma$ ) es la dispersión de la misma.



♣ Un proceso con solo causas comunes de variación es estable, por ello predecible

♣ Un proceso estable con dispersión mayor que el campo de tolerancia no es apto  $C_p < 1$ .

♣ Un proceso estable con  $C_p > 1$  puede ser no apto si su dispersión esta desfasada respecto del campo de tolerancia.

Todo proceso deberá continuar siendo mejorado en forma indefinida.

### 3.4 Índice $C_p$

Relaciona la especificación con la dispersión del proceso, menciona Bertrand (1989).

$C_p = \frac{\text{Tolerancia}}{\text{Dispersión}}$

$C_p = \frac{Les - Lei}{\sigma}$

Dónde:

Les = Límite Superior

Lei = Límite Inferior

Les y Lei son datos del plano especificaciones

$\sigma$ : Desviación estándar, obtenida del gráfico de control

$C_p$  = Ancho de la campana

$C_{pk}$  = Donde está la campana



$\bar{X}$  = Media Aritmética

$C_{pk}$  = Inferior Desplazado 0,5

### 3.5 índice $C_{pk}$

Menciona Bertrand (1989) que este índice mide la aptitud de un proceso relacionando la especificación con la dispersión del proceso y la medida de posición.

$C_{pk} = \min(x - L_{ei}; L_{es} - x)$  es el de mayor riesgo

Al utilizar el mínimo, estamos considerando la condición más desfavorable para procesos no centrados.

Las siguientes campanas nos muestran algunos ejemplos de cómo se presentan distintas distribuciones y los valores de  $C_p$  y  $C_{pk}$  correspondientes.

Siempre se informa sobre el  $C_{pk}$  inferior, es el que entraña mayor riesgo mejorar el  $C_{pk}$  es más costoso que el  $C_p$ .

### 3.6 CAPACIDAD DE MÁQUINA $C_{mk}$

Es el índice que define la aptitud de una máquina para fabricar productos conformes a las especificaciones del cliente, menciona Bertrand (1989).

Método:



- ♣ Tomar como mínimo 50 piezas sucesivas salidas de la máquina.
- ♣ Asegurarse de la normalidad del fenómeno mediante la recta de Henry.

Cálculo:

La forma de calcular el  $C_m$  y  $C_{mk}$  es la misma que para la aptitud y capacidad de procesos,  $C_p$  y  $C_{pk}$ .

$$C_m = \text{Tolerancia Superior} - \text{Tolerancia Inferior}$$

Pero para asegurarse del centrado de la curva en relación al valor normal, se considera:

$$C_{mk} = \text{mínimo Tolerancia Superior} - \text{Media } x; \text{ Media } x - \text{Tolerancia Inferior}$$

Objetivo:

- ♣ Asegurarse de la aptitud de una máquina para respetar las tolerancias
- ♣ Verificar la variabilidad de una máquina.
- ♣ Aprovechar esta experiencia para la instalación de nuevos equipos.

### 3.7 CARTAS DE CONTROL

Los gráficos de control fueron propuestos por primera vez en 1924 por W. A. Shewhart, de la "Bell Telephone Laboratories", menciona Concretos Miceli (2011), con el objeto de eliminar las variaciones anormales de calidad, al posibilitar

que se distingan entre variaciones provocadas por causas asignables y aquellas ocasionadas por causas aleatorias.

El gráfico de control o Carta de control consiste en una línea central, y un par de límites de control ubicados por encima y por debajo de la línea central y la representación gráfica de los valores obtenidos dentro de un proceso. Si todos estos valores se ubican dentro de los límites de control sin ninguna tendencia en particular, se considera que el proceso se halla bajo control. Por el contrario, si los valores aparecen fuera de los límites y adoptan alguna forma en particular, se considera que el proceso está fuera de control.

Cuando los puntos caen fuera de los límites de control o adoptan una forma particular, se dice que el proceso está fuera control, y esto equivale a decir que existen causas de variación asignable o especial, y que el proceso está fuera de control.

Para controlar el proceso será necesario eliminar las causas especiales y encarar las acciones preventivas para evitar que ocurran y tener presente que pueden presentarse variaciones provocadas por causas aleatorias.

### 3.7.1 Objetivo de los Gráficos

Menciona Concretos Miceli (2011) que los objetivos de los gráficos de control son:

- Indicar la presencia de causas especiales de variación, de manera que se pueda tomar acción para que el proceso vuelva a su estado normal de variación.



- Suministrar evidencia de que el proceso ha estado operando bajo control estadístico de manera que se pueda estimar la aptitud de cumplir con las especificaciones, sobre una base concreta y confiable.

- Estudiar el proceso para reducir la variabilidad del mismo y obtener así una mejora.

### 3.7.2 Límites de control

Los límites de control representan el promedio del proceso, a los que se les suma y resta una tolerancia debido a la variación natural del proceso.

Esta tolerancia es función del tamaño de la muestra y de la variación dentro de los subgrupos reflejada a través de los rangos:

- Los límites de control están marcados en línea de puntos.
- El promedio y el rango están marcados en línea llena.
- Los puntos se marcan bien visibles y las uniones entre los puntos consecutivos están marcados en líneas llena.

Cada punto colocado y cada línea trazada en el gráfico de control, refleja la “Real situación del Proceso”, menciona Concretos Miceli (2011).

Esto significa que son los límites de control los que separan las variaciones evitables (variaciones provenientes de causas especiales) de las variaciones inevitables (variaciones provenientes de causas comunes).



La franja entre el LCS y el LCI representa la Variación Natural del Proceso o Variación Inevitable, o sea, la variación existente debido a la mano de obra, materia prima, método, máquinas, y medio ambientes (Las 5 M), utilizado para realizar el proceso.

Por lo tanto, normalmente los puntos que caigan dentro de esos límites indican las Variaciones Naturales del Proceso.

Así, los puntos que están fuera de esos límites, indican que uno o más de esos factores salieron fuera de lo normal.

Las siguientes son señales de que algún problema está ocurriendo en el proceso, es necesario identificar la existencia de la irregularidad, debemos descubrir la causa rápidamente, tomar acciones de inmediato y prevenir para que no vuelva ocurrir.

### 3.8 ANÁLISIS FODA

El análisis FODA es una herramienta que permite conformar un cuadro de la situación actual de la empresa u organización, permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico preciso que permita en función de ello tomar decisiones acordes con los objetivos y políticas formulados, menciona Tawfik (1987).

El término FODA es una sigla conformada por las primeras letras de las palabras Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (en inglés SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). De entre estas cuatro variables, tanto fortalezas como debilidades son internas de la organización, por lo que es



posible actuar directamente sobre ellas. En cambio las oportunidades y las amenazas son externas, por lo que en general resulta muy difícil modificarlas.

SEP

**Fortalezas:** son las capacidades especiales con que cuenta la empresa, y por los que cuenta con una posición privilegiada frente a la competencia. Recursos que se controlan, capacidades y habilidades que se poseen, actividades que se desarrollan positivamente, etc.

**Oportunidades:** son aquellos factores que resultan positivos, favorables, explotables, que se deben descubrir en el entorno en el que actúa la empresa, y que permiten obtener ventajas competitivas.

**Debilidades:** son aquellos factores que provocan una posición desfavorable frente a la competencia. Recursos de los que se carece, habilidades que no se poseen, actividades que no se desarrollan positivamente, etc.

**Amenazas:** son aquellas situaciones que provienen del entorno y que pueden llegar a atentar incluso contra la permanencia de la organización.

El Análisis FODA es un concepto muy simple y claro, pero detrás de su simpleza residen conceptos fundamentales de la Administración. Intentaré desgusar el FODA para exponer sus partes fundamentales, menciona Tawfik (1987).

Tenemos un objetivo: convertir los datos del universo (según lo percibimos) en información, procesada y lista para la toma de decisiones (estratégicas en este caso). En términos de sistemas, tenemos un conjunto inicial de datos (universo a



analizar), un proceso (análisis FODA) y un producto, que es la información para la toma de decisiones (el informe FODA que resulta del análisis FODA).

SEP

Pongámoslo en otras palabras: el FODA nos va a ayudar a analizar nuestra empresa siempre y cuando respondamos tres preguntas: Lo que estoy analizando, ¿es relevante? ¿Está fuera o dentro de la empresa? ¿Es bueno o malo para mi empresa?

Estas tres preguntas no son otra cosa que los tres subprocesos que se ven en el proceso central del dibujo de arriba. Pasemos a explicar: La relevancia es el primer proceso y funciona como filtro: no todo merece ser elevado a componente del análisis estratégico. Es sentido común ya que en todos los órdenes de la vida es fundamental distinguir lo relevante de lo irrelevante. En FODA este filtro reduce nuestro universo de análisis disminuyendo nuestra necesidad de procesamiento (que no es poca cosa).

Aplicando el sentido común, se construye una matriz con dos dimensiones (dentro/fuera, bueno/malo):

**Tabla 3.3** Descripción FODA (Fuente: Tawfik 1997)

|          | Positivas     | Negativas   |
|----------|---------------|-------------|
| Exterior | Oportunidades | Amenazas    |
| Interior | Fortalezas    | Debilidades |

La clave está en adoptar una visión de sistemas y saber distinguir los límites del mismo, menciona Tawfik (1987). Para esto hay que tener en cuenta,



no la disposición física de los factores, sino el control que yo tenga sobre ellos. Recordando una vieja definición de límite: lo que me afecta y controlo, es interno al sistema. Lo que me afecta pero está fuera de mi control, es ambiente (externo).

SEP

Sólo queda la dimensión positivo/negativo, que aparentemente no debería ofrecer dificultad, pero hay que tener cuidado. El competitivo ambiente de los negocios está lleno de maniobras, engaños, etc.

### 3.8.1 Análisis externo

La organización no existe ni puede existir fuera de un entorno, fuera de ese entorno que le rodea; así que el análisis externo permite fijar las oportunidades y amenazas que el contexto puede presentarle a una organización, menciona Niebel (2001).

El proceso para determinar esas oportunidades o amenazas se puede realizar de la siguiente manera:

Estableciendo los principales hechos o eventos del ambiente que tiene o tendría alguna relación con la organización. Estos pueden ser:

#### **De carácter político:**

- Estabilidad política del país.
- Sistema de gobierno.
- Relaciones internacionales.
- Restricciones a la importación y exportación.



- Interés de las instituciones públicas.

#### **De carácter legal:**

- Impuestos sobre ciertos artículos o servicios.
- Forma de pago de impuestos.
- Impuestos sobre utilidades.
  
- Laboral.
- Mantenimiento del entorno.
- Descentralización de empresas en las zonas urbanas.
  
- Deuda pública.
- Nivel de salarios.
- Nivel de precios.
- Inversión extranjera.

#### **De carácter social:**

- Crecimiento y distribución demográfica.
- Empleo y desempleo.
- Sistema de salubridad e higiene.

#### **De carácter tecnológico:**



- Rapidez de los avances tecnológicos.
- Cambios en los sistemas.

Determinando cuáles de esos factores tendría influencia sobre la organización en términos de facilitar o restringir el logro de objetivos. Es decir, hay circunstancias o hechos presentes en el ambiente que a veces representan una buena oportunidad que la organización aprovecharía, ya sea para desarrollarse aún más o para resolver un problema.

También puede haber situaciones que más bien representen AMENAZAS para la organización y que puedan hacer más graves sus problemas.

### 3.8.2 Matriz FODA

Tabla 3.4. Matriz FODA (Fuente: Tawfik 1997)

|                          | <b>Fortalezas</b>  | <b>Debilidades</b>  |
|--------------------------|--|---|
| <b>Análisis Interno</b>  | Capacidades distintas<br>Ventajas naturales<br>Recursos superiores | Recursos y capacidades escasas<br>Resistencia al cambio<br>Problemas de motivación del personal |
|                          | <b>Oportunidades</b>   | <b>Amenazas</b>   |
| <b>Análisis Externos</b> | Nuevas tecnologías<br>Debilitamiento de competidores               | Altos riesgos - Cambios en el entorno   |



### Posicionamiento estratégico

De la combinación de fortalezas con oportunidades surgen las potencialidades, las cuales señalan las líneas de acción más prometedoras para la organización.

Las limitaciones, determinadas por una combinación de debilidades y amenazas, colocan una seria advertencia.

Mientras que los riesgos (combinación de fortalezas y amenazas) y los desafíos (combinación de debilidades y oportunidades), determinados por su correspondiente combinación de factores, exigirán una cuidadosa consideración a la hora de marcar el rumbo que la organización deberá asumir hacia el futuro deseable como sería el desarrollo de un nuevo producto.

### 3.9 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El Diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto, se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también: diagrama de espina de pez, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha, menciona Sipper (1998).



Es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son; calidad de los procesos, los productos y servicios. Fue concebido por el licenciado en química japonés Dr. Kaoru Ishikawa en el año 1943.

### 3.9.1 Kaoru Ishikawa

Fue el primer autor que intentó destacar las diferencias entre los estilos de administración japonés y occidentales. Precursor de los conceptos sobre la calidad total en el Japón. Posteriormente tuvo una gran influencia en el resto del mundo, ya que fue el primero en resaltar las diferencias culturales entre las naciones como factor importante para el logro del éxito en calidad. Era gran convencido de la importancia de la filosofía de los pueblos orientales.

Menciona Sipper (1998), que Ishikawa estaba interesado en cambiar la manera de pensar de la gente respecto a su trabajo. Para él, la calidad era un constante proceso que siempre era llevado un paso más. Hoy es conocido como uno de los más famosos "Gurús" de la calidad mundial. Todos quienes están interesados en el tema de la calidad deben estudiar a Ishikawa, pero no solamente de manera superficial, repasando sus planteamientos, sino analizando profundamente su concepción del trabajo y sobre todo aplicándola cada quien a su propio entorno.

El control de calidad, término tan usado hoy en día en todos los círculos académicos, fue un planteamiento de Ishikawa, más de 50 años atrás, en el Japón de la post guerra. El control de la calidad en pocas palabras fue definido por él



como "Desarrollar, Diseñar, Manufacturar y Mantener un producto de calidad". Es posible que la contribución más importante de Ishikawa haya sido su rol en el desarrollo de una estrategia de calidad japonesa. Él no quería que los directivos de las compañías se enfocaran solamente en la calidad del producto, sino en la calidad de toda la compañía, incluso después de la compra. También predicaba que la calidad debía ser llevada más allá del mismo trabajo, a la vida diaria.

SEP

Fue fundador de la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (Union of Japanese Scientists and Engineers, UJSE), entidad que se preocupaba de promover la calidad dentro de Japón durante la época de la post-guerra.

Ishikawa hizo muchas aportaciones, entre las cuales se destacan:

- Demostró la importancia de las 7 herramientas de calidad.
- Trabajó en los círculos de calidad.

Su concepción conceptual al concebir su Diagrama Causa-Efecto (Espina de Pescado de Ishikawa) se puede resumir en que cuando se realiza el análisis de un problema de cualquier índole y no solamente referido a la salud, estos siempre tienen diversas causas de distinta importancia, trascendencia o proporción. Algunas causas pueden tener relación con la presentación u origen del problema y otras, con los efectos que este produce, menciona Sipper (1998).

El diagrama de Ishikawa ayuda a graficar las causas del problema que se estudia y analizarlas. Es llamado "Espina de Pescado" por la forma en que se van colocando cada una de las causas o razones que a entender originan un problema. Tiene la ventaja que permite visualizar de una manera muy rápida y clara, la relación que tiene cada una de las causas con las demás razones que



inciden en el origen del problema. En algunas oportunidades son causas independientes y en otras, existe una íntima relación entre ellas, las que pueden estar actuando en cadena.

SEP

La mejor manera de identificar problemas es a través de la participación de todos los miembros del equipo de trabajo en que se trabaja y lograr que todos los participantes vayan enunciando sus sugerencias. Los conceptos que expresen las personas, se irán colocando en diversos lugares. El resultado obtenido será un Diagrama en forma de Espina de Ishikawa.

Ideado en 1953 se incluye en él los siguientes elementos:

El problema principal que se desea analizar, el cual se coloca en el extremo derecho del diagrama. Se aconseja encerrarlo en un rectángulo para visualizarlo con facilidad.

Gráficamente está constituida por un eje central horizontal que es conocida como "línea principal o espina central". Posee varias flechas inclinadas que se extienden hasta el eje central, al cual llegan desde su parte inferior y superior, según el lugar adonde se haya colocado el problema que se estuviera analizando o descomponiendo en sus propias causas o razones. Cada una de ellas representa un grupo de causas que inciden en la existencia del problema. Cada una de estas flechas a su vez son tocadas por flechas de menor tamaño que representan las "causas secundarias" de cada "causa" o "grupo de causas del problema".



El Diagrama que se efectúe debe tener muy claramente escrito el nombre del problema analizado, la fecha de ejecución, el área de la empresa a la cual pertenece el problema y se puede inclusive colocar información complementaria como puede ser el nombre de quienes lo hayan ejecutado, etc.

SEP

Elementos claves del pensamiento de Ishikawa:

- La calidad empieza con la educación y termina con la educación.
- El primer paso a la calidad es conocer lo que el cliente requiere.
- El estado ideal de la calidad es cuando la inspección no es necesaria.
- Hay que remover la raíz del problema, no los síntomas.
- El control de la calidad es responsabilidad de todos los trabajadores.
- No hay que confundir los medios con los objetivos.
- Primero poner la calidad y después poner las ganancias a largo plazo.
- El comercio es la entrada y salida de la calidad.
- Los altos ejecutivos de las empresas no deben de tener envidia cuando un obrero da una opinión valiosa.
- Los problemas pueden ser resueltos con simples herramientas para el análisis.
- Información sin información de dispersión es información falsa.

La teoría de Ishikawa era manufacturar todo a bajo costo. Menciona Sipper (1998) que postuló que algunos efectos dentro de empresas que se logran implementando el control de calidad es la reducción de precios, bajar los costos, establecer y mejorar la técnica, entre otros.

No es en vano que a Ishikawa se le deba mucha gratitud por sus ideas que revolucionaron el mundo de la industria, la administración, el comercio y los



servicios. De su capacidad y sus teorías se nutrió el Japón y llegó a ser lo que todos vemos hoy día.

SEP

### 3.9.2 Causa

El problema analizado puede provenir de diversos ámbitos como la salud, calidad de productos y servicios, fenómenos sociales, organización, etc.

A este eje horizontal van llegando líneas oblicuas -como las espinas de un pez- que representan las causas valoradas como tales por las personas participantes en el análisis del problema, Sipper (1998). A su vez, cada una de estas líneas que representa una posible causa, recibe otras líneas perpendiculares que representan las causas secundarias.

Cada grupo formado por una posible causa primaria y las causas secundarias que se le relacionan forman un grupo de causas con naturaleza común.

Este tipo de herramienta permite un análisis participativo mediante grupos de mejora o grupos de análisis, que mediante técnicas como por ejemplo la lluvia de ideas, sesiones de creatividad, y otras, facilita un resultado óptimo en el entendimiento de las causas que originan un problema, con lo que puede ser posible la solución del mismo.

### 3.9.3 Procedimiento



Menciona Sipper (1998) que para empezar, se decide qué característica de calidad, salida o efecto se quiere examinar y continuar con los siguientes pasos:

SEP

- Definir claramente el efecto o síntoma cuyas causas han de identificarse.
- Encuadrar el efecto a la derecha y dibujar una línea gruesa central apuntándole.
- Usar Brainstorming o un enfoque racional para identificar las posibles causas.
- Distribuir y unir las causas principales a la recta central mediante líneas de 70°.
- Añadir subcausas a las causas principales a lo largo de las líneas inclinadas.
- Descender de nivel hasta llegar a las causas raíz (fuente original del problema).
- Comprobar la validez lógica de la cadena causal.
- Comprobación de integridad: ramas principales con, ostensiblemente, más o menos causas que las demás o con menor detalle.

A continuación veremos como el valor de una característica de calidad depende de una combinación de variables y factores que condicionan el proceso productivo (entre otros procesos).

La variabilidad de las características de calidad es un efecto observado que tiene múltiples causas. Cuando ocurre algún problema con la calidad del producto, se debe investigar a fin de identificar las causas del mismo.

Para hacer un Diagrama de Causa-Efecto se siguen los siguientes pasos:



Se traza una flecha gruesa que representa el proceso y a la derecha se escribe la característica de calidad:

Se indican los factores causales más importantes y generales que puedan generar la fluctuación de la característica de calidad, trazando flechas secundarias hacia la principal.

Se incorporan en cada rama factores más detallados que se puedan considerar causas de fluctuación. Para hacer esto, se pueden formular las siguientes preguntas, que menciona Sipper (1998):

- ¿Por qué hay fluctuación o dispersión en los valores de la característica de calidad? Por la fluctuación de las Materias Primas. Se anota Materias Primas como una de las ramas principales.
- ¿Qué Materias Primas producen fluctuación o dispersión en los valores de la característica de calidad? Aceite, Huevos, sal, otros condimentos. Se agrega Aceite como rama menor de la rama principal Materias Primas.
- ¿Por qué hay fluctuación o dispersión en el aceite? Por la fluctuación de la cantidad agregada a la mezcla. Agregamos a Aceite la rama más pequeña Cantidad.
- ¿Por qué hay variación en la cantidad agregada de aceite? Por funcionamiento irregular de la balanza. Se registra la rama Balanza.
- ¿Por qué la balanza funciona en forma irregular? Por qué necesita mantenimiento. En la rama Balanza colocamos la rama Mantenimiento.



Así se sigue ampliando el Diagrama de Causa-Efecto hasta que contenga todas las causas posibles de dispersión.

Finalmente se verifica que todos los factores que puedan causar dispersión hayan sido incorporados al diagrama. Las relaciones Causa-Efecto deben quedar claramente establecidas y en ese caso, el diagrama está terminado.

Un diagrama de Causa-Efecto es de por sí educativo, sirve para que la gente conozca con profundidad el proceso con que trabaja, visualizando con claridad las relaciones entre los Efectos y sus Causas.

### 3.10 ANTECEDENTES DEL CONCRETO

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Menciona Cemex México (2009) que el concreto se elabora con arena y grava (agregado grueso) que constituyen entre el 70 y 75 por ciento del volumen y una pasta cementante endurecida formada por cemento hidráulico con agua, que con los vacíos forman el resto. Usualmente, se agregan aditivos para facilitar su manejo o afectar las condiciones de su fraguado.

### 3.11 EL 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, menciona Cemex México (2009).

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 vivimos.

En la forma de caminos y entradas, el concreto nos conduce a nuestro hogar, proporcionando un sendero confortable hacia la puerta.

Además de servir a nuestras 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.



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

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.

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

Las proporciones de los materiales del concreto deben permitir la mayor compactación posible, con un mínimo de cemento, menciona Cemex México (2009). Las proporciones de una mezcla se definen numéricamente mediante fórmulas, v. gr.: 1:2:4 que representa: "1" parte de cemento, "2" partes de arena, "4" partes de grava, al peso o al volumen. Las proporciones (dosificaciones) al peso son las más recomendables.

Las proporciones en volumen son cada vez menos usadas; se usan donde no se requiere una resistencia muy controlada: aplicaciones caseras o poblaciones pequeñas alejadas de los centros urbanos, y siempre presentan grandes variaciones en su resistencia, no siendo modernamente recomendables. En las ciudades grandes la producción se hace generalmente en plantas de premezclado, lo que permite un control de calidad estricto y una resistencia del concreto más uniforme, con reducción en el consumo de cemento. Una mezcla típica de concreto en el país tiene una resistencia de 210 kgf/cm<sup>2</sup> (3000 psi), o 21 MPa.



Siendo la compresión la propiedad más característica e importante del concreto, las demás propiedades mecánicas se evalúan con referencia a ella. La resistencia a compresión ( $f'c$ ) se mide usualmente mediante el ensayo a compresión en cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura y con 28 días de edad. Últimamente se ha ido popularizando la medida de la compresión con cilindros de menor diámetro, v.gr.: 100 y 75 mm, con las ventajas de menor consumo de concreto para el programa de control de calidad y menor peso para el transporte de los cilindros; en este caso el tamaño máximo del agregado debe limitarse a 2,5 cm (una pulgada).

La resistencia a compresión ( $f'c$ ) varía significativamente con la variación de algunos parámetros, tales como: la relación agua-cemento ( $a/c$ ), el tamaño máximo de la grava, las condiciones de humedad durante el curado, la edad del concreto, la velocidad de carga, la relación de esbeltez de la muestra (en casos de ensayos sobre núcleos extraídos de concretos endurecidos es diferente de 2, que es la relación de los cilindros estándar, usados para determinar la resistencia del concreto).

El concreto posee una resistencia a la tensión baja y cercana al 10% de la resistencia a compresión; en la actualidad esta resistencia se mide mediante el ensayo de los cilindros apoyados en su arista, denominado "ensayo brasileño", menciona Cemex México (2009).

### 3.12 INGREDIENTES DEL CONCRETO

El concreto fresco es una mezcla semilíquida de cemento portland, arena (agregado fino), grava o piedra triturada (agregado grueso) y agua. 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.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

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 sin requerir de mucho mantenimiento. El material que se utilice en la preparación del concreto afecta la facilidad con que pueda vaciarse y con la que se le pueda dar el acabado; también influye en el tiempo que tarde en endurecer, la resistencia que pueda adquirir, y lo bien que cumpla las funciones para las que fue preparado, menciona Cemex México (2009).

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, dependiendo de la naturaleza del proyecto. El acero reforzado puede ser de alta o baja resistencia, características que dependerán de las dimensiones y la resistencia que se requieran. El concreto se vacía en la cimbra con la forma deseada y después la superficie se alisa y se le da el acabado con diversas texturas.

### 3.13 CEMENTANTES EN GENERAL

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.



Menciona Cemex México (2009), que los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de 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.

Por otra parte, bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades, en cuya elaboración intervienen normalmente las materias primas.

El cemento no es lo mismo que el concreto, es uno de los ingredientes que se usan en él. Sus primeros usos datan de los inicios de 1800 y, desde entonces, el cemento portland se ha convertido en el cemento más usado en el mundo. Su inventor le dio ese nombre porque el concreto ya curado es del mismo color que una piedra caliza que se obtiene cerca de Portland, Inglaterra. Este tipo de cemento es una mezcla de caliza quemada, hierro, sílice y alúmina, y las fuentes más comunes donde se pueden obtener estos materiales son el barro, la piedra caliza, esquisto y mineral de hierro. Esta mezcla se mete a un horno de secar y se pulveriza hasta convertirlo en un fino polvo, se empaqueta y se pone a la venta.

Existen cinco tipos de cemento portland, cada uno con características físicas y químicas diferentes, menciona Cemex México (2009).



### 3.14 CEMENTOS CON CLINKER PORTLAND

Todos los cementos para concreto hidráulico que se producen en México son elaborados a base de clinker portland, por cuyo motivo se justifica centrar el interés en éste y en los cementos a que da lugar.

#### 3.14.1 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 1400 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, menciona Cemex México (2009).

También es factible incorporar aditivos durante la molienda del clinker, siendo de uso frecuente los auxiliares de molienda y los inclusores de aire. Estos últimos dan por resultado los cementos inclusores de aire para concreto, cuyo empleo es bastante común en EUA pero no se acostumbra en México.

De conformidad con lo anterior, a partir del clinker portland es posible fabricar tres principales grupos o clases de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto:

- 1) Los cementos portland propiamente dichos, o portland simples, moliendo solamente el clinker y el yeso sin componentes cementantes adicionales.
- 2) Los cementos portland mezclados, combinando el clinker y el yeso con otro cementante, ya sea este una escoria o una puzolana.
- 3) Los cementos expansivos que se obtienen añadiendo al clinker otros componentes especiales de carácter sulfatado, cálcico y aluminoso.

El primer grupo constituye los cementos que se han utilizado tradicionalmente para la fabricación del concreto hidráulico en el país. Los del segundo grupo son cementos destinados al mismo uso anterior, y cuya producción se ha incrementado en los últimos 20 años, al grado que actualmente representan más de la mitad de la producción nacional.



Finalmente, los cementos del tercer grupo son más recientes y aún no se producen regularmente en México, si bien su utilización tiende a aumentar en EUA para las llamadas estructuras de concreto de contracción compensada. Así, mediante ajustes en la composición química del clinker, o por medio de la combinación con otros cementantes, o por la adición al clinker de ciertos materiales especiales, es factible obtener cementos con características y propiedades adecuadas para cada uso específico del concreto hidráulico.

#### 3.14.2 Otros cementos con clinker portland

Se producen otros cementos a base de clinker portland para usos diferentes a la fabricación de concreto hidráulico convencional, menciona Cemex México (2009).

#### 3.14.3 Cemento blanco

El clinker portland para este cemento se produce seleccionando materias primas con muy bajas proporciones, e incluso nulas, de hierro y manganeso. En México se le fabrica normalmente conforme a NOM C-1(4) y de acuerdo con su composición química puede ser clasificado como portland tipo lo 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.

#### 3.14.4 Cemento para pozo petrolero



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, en las Especificaciones API 10A(7) se reglamentan seis diferentes clases de cemento, aplicables de acuerdo con la profundidad de colocación en el pozo. En el país se produce en forma limitada un cemento para esta aplicación, conforme a la NOM C 315. 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. Por el contrario, 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 di cálcico y sílice finamente molida.

### 3.14.5 Cemento de mampostería

El cemento de mampostería 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. La Especificación ASTM C 91(8) considera tres tipos de cemento de mampostería (N, S y M) con tres diferentes niveles de resistencia. En México se produce normalmente un solo tipo de este cemento conforme a la NOM



C-21(9) cuyos requisitos son equiparables a los del cemento de nivel inferior de resistencia (tipo N) reglamentado por la ASTM.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### 3.15 SELECCIÓN DEL CEMENTO APROPIADO

#### 3.15.1 Disponibilidad en el mercado nacional

En el proceso para definir y especificar el concreto potencialmente idóneo para cada aplicación en particular, es de trascendental importancia la definición del cemento apropiado, ya que de éste dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del concreto, menciona Cemex México (2009).

Para proceder de manera realista en este aspecto, es necesario primero hacer un recuento de las clases y tipos de cementos para concreto hidráulico que efectivamente se producen, o pueden producirse, en las fábricas de cemento del país, incluyendo sus respectivas características, usos indicados y normas aplicables.

Además de los cementos ahí mencionados, también está normalizado el cemento de escoria (NOM C-184) destinado principalmente a morteros de albañilería, cuya producción está discontinuada.

#### 3.15.2 Características esenciales del cemento

La influencia que el cemento portland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante y del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del clinker y de su finura de molienda. En el caso de los



cementos portland-puzolana, habría que añadir a esos dos factores los referentes a las características físicas y químicas de la puzolana y el contenido de ésta en el cemento.

### 3.15.3 Composición química

Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante, se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designan como hidratación del cemento. Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidización gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado, y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica en el producto.

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. Con esto admitido, puede decirse que la composición química de un clinker portland se define convenientemente mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento portland:

Compuesto Fórmula del óxido Notación abreviada

Silicato tricálcico  $3\text{CaO SiO}_2$  C3S

Silicato dicálcico  $2\text{CaO SiO}_2$  C2S

Aluminato tricálcico  $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$  C3A

Aluminoferrito tetracálcico  $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$  C4AF



En términos prácticos se concede que los silicatos de calcio (C3S y C2S) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el C3S aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el C2S a mediano y largo plazo, es decir, se complementan bien para que la adquisición de resistencia se realice en forma sostenida, menciona Cemex México (2009).

El aluminato tricálcico (C3A) es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente, el aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia del concreto, y su presencia más bien es útil como fundente durante la calcinación del clinker y porque favorece la hidratación de los otros compuestos.

Menciona Cemex México (2009), que conforme a esas tendencias de carácter general, durante la elaboración del clinker portland en sus cinco tipos normalizados, se realizan ajustes para regular la presencia de dichos compuestos de la siguiente manera:

Tipo Característica Ajuste principal



I Sin características especiales Sin ajustes específicos en este aspecto

II Moderados calor de hidratación y resistencia a los sulfatos Moderado

III Alta resistencia rápida Alto C3S

IV Bajo calor de hidratación Alto C2S, moderado C3A

V Alta resistencia a los sulfatos Bajo C3A

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

C3A

SEP

Otro aspecto importante relativo a la composición química del clinker (y del cemento portland) se refiere a los álcalis, óxidos de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento con ciertos agregados en el concreto. Esto ha dado motivo para el establecimiento de un requisito químico opcional, aplicable a todos los tipos de cemento portland, que consiste en ajustar el contenido de álcalis totales, expresados como  $\text{Na}_2\text{O}$ , a un máximo de 0.60 por ciento cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos.

#### 3.15.4 Finura de molienda

En la determinación del proceso industrial adecuado para la molienda del cemento, intervienen factores técnicos y económicos que deben conciliarse. En el aspecto técnico interesa principalmente definir el grado de finura que debe darse al cemento para que cumpla especificaciones de acuerdo con su tipo, pero sin dejar de considerar también los efectos secundarios que la finura del cemento puede inducir en el comportamiento del concreto, tanto en estado fresco como ya endurecido.

El grado de finura del cemento tiene efectos ambivalentes en el concreto. Al aumentar la finura el cemento se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez, y



también se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta recién mezclada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto. Como contrapartida, una finura más alta representa mayor velocidad en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, cuyas consecuencias son indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos de los concretos y posibles agrietamientos en las estructuras.

En el caso de los cementos portland, debe dárseles una finura de molienda adecuada para cumplir con los valores especificados en cuanto a superficie específica y resistencia a compresión, salvo el tipo III en que no se reglamenta la superficie específica porque se sobreentiende que requiere mayor finura que los otros tipos para cumplir con la función de obtener alta resistencia a edad temprana. En cuanto a la finura de molienda de los cementos portland-puzolana, en la NOM C-2(5) se especifican requisitos relativos al residuo en la criba F 0.045 (No 325, ASTA) ya la superficie específica; sin embargo, la norma ASTM C 595(2) no especifica requisitos en estos aspectos y solamente requiere que se realicen e informen resultados de ambas determinaciones con cierta frecuencia. Es decir, el criterio de la norma ASTM propende a conceder a estos resultados más bien valor informativo de uniformidad que de aceptación o rechazo, lo cual puede interpretarse como que no los considera índices decisivos para juzgar la calidad del cemento portland-puzolana.

Cuando se fabrica cemento portland simple, prácticamente se muele un solo material (clinker) que es relativamente homogéneo y de dureza uniforme, de manera que al molerlo se produce una fragmentación y pulverización gradual que se manifiesta en el cemento por curvas de granulometría continua, no bastante



que la molienda se prolongue para incrementar la finura como sucede en la fabricación del tipo III. En tales condiciones, la superficie específica es un buen índice de la finura del cemento y de sus efectos correspondientes en el concreto.

Una consecuencia práctica de ello es que si se comparan dos cementos portland del mismo tipo y con igual superficie específica, suele manifestarse poca diferencia en sus requerimientos de agua al elaborar el mismo concreto, aun siendo los que no se reglamenta la superficie específica porque se sobreentiende que requiere mayor finura que los otros tipos para cumplir con la función de obtener alta resistencia a edad temprana. En cuanto a la finura de molienda de los cementos portland-puzolana, en la NOM C-2(5) se especifican requisitos relativos al residuo en la criba F 0.045 (No 325, ASTM) ya la superficie específica; sin embargo, la norma ASTM C 595(2) no especifica requisitos en estos aspectos y solamente requiere que se realicen e informen resultados de ambas determinaciones con cierta frecuencia.

Es decir, el criterio de la norma ASTM propende a conceder a estos resultados más bien valor informativo de uniformidad que de aceptación o rechazo, lo cual puede interpretarse como que no los considera índices decisivos para juzgar la calidad del cemento portland-puzolana.

Cuando se fabrica cemento portland simple, prácticamente se muele un solo material (clinker) que es relativamente homogéneo y de dureza uniforme, de manera que al molerlo se produce una fragmentación y pulverización gradual que se manifiesta en el cemento por curvas de granulometría continua, no obstante que la molienda se prolongue para incrementar la finura como sucede en la fabricación del tipo III. En tales condiciones, la superficie específica es un buen



índice de la finura del cemento y de sus efectos correspondientes en el concreto. Una consecuencia práctica de ello es que si se comparan dos cementos portland del mismo tipo y con igual superficie específica, suele manifestarse poca diferencia en sus requerimientos de agua al elaborar el mismo concreto.

No ocurre lo mismo cuando se fabrican cementos portland-puzolana, debido a que se muelen conjuntamente dos materiales de diferente naturaleza (clinker y puzolana) con distinto grado de uniformidad y dureza, a lo cual debe añadirse la diversidad de materiales puzolánicos y de proporciones que se emplean para fabricar esta clase de cemento.

La principal fuente de puzolanas naturales en el país son las rocas de origen volcánico, muchas de las cuales son tobas que presentan menor grado de dureza que el clinker portland. Debido a ello, cuando se les muele conjuntamente, su fragmentación y pulverización evoluciona con distinta rapidez e intensidad, dando por consecuencia la mezcla de dos materiales con diferente finura que en la determinación de la superficie específica produce resultados dudosos. Por otra parte, ya que el clinker debe molerse hasta llegar a un punto que le permita cumplir al cemento especificaciones de resistencia, resulta que en este punto la fracción puzolánicas puede alcanzar una finura muy elevada.

La manifestación más evidente de ello es que los cementos elaborados con puzolanas que se comportan así en la molienda, tienden a requerir altos consumos de agua de mezclado en el concreto, con marcadas diferencias en este aspecto cuando se comparan cementos de distinta procedencia.

### 3.15.5 Cementos recomendables por sus efectos en el concreto

Las condiciones que deben tomarse en cuenta para especificar el concreto idóneo y seleccionar el cemento adecuado para una obra, pueden determinarse por la indagación oportuna de dos aspectos principales:

1) las características propias de la estructura y de los equipos y procedimientos previstos para construirla.

2) las condiciones de exposición y servicio del concreto, dadas por las características del medio ambiente y del medio de contacto y por los efectos previsibles resultantes del uso destinado a la estructura.

- Cohesión y manejabilidad
- Concreto Pérdida de revenimiento fresco
- Asentamiento y sangrado
- Tiempo de fraguado
- Adquisición de resistencia mecánica
- Concreto Generación de calor endurecido
- Resistencia al ataque de los sulfatos
- Estabilidad dimensional (cambios volumétricos)
- Estabilidad química (reacciones cemento-agregados)

En algunos aspectos la influencia del cemento es fundamental, en tanto que en otros resulta de poca importancia porque existen otros factores que también influyen y cuyos efectos son más notables. No obstante, es conveniente conocer y tomar en cuenta todos los efectos previsibles en el concreto, cuando se trata de seleccionar el cemento apropiado para una obra determinada.



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.

### 3.15.6 Pérdida de 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, menciona Cemex México (2009). 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.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

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 ésta, 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:

- 1) Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez, debido a la evaporación del exceso de agua que contienen.
- 2) 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.
- 3) El uso de algunos aditivos reductores de agua y supe fluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.
- 4) 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 avidez 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.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

Es importante no confundir la pérdida normal de revenimiento que toda mezcla de concreto exhibe en la primera media hora subsecuente al mezclado, con la rápida rigidización que se produce en pocos minutos como consecuencia del fenómeno de falso fraguado en el cemento. Para evitar esto último, es recomendable seleccionar un cemento que en pruebas de laboratorio demuestre la inexistencia de falso fraguado (NOM C 132), o bien especificar al fabricante el requisito opcional de que el cemento no presente falso fraguado, tal como se halla previsto en las NOM C-1 y NOM C-2.

### 3.15.7 Asentamiento y sangrado

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, menciona Cemex México (2009), 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. Esta circunstancia resulta particularmente inconveniente en el caso de pavimentos de concreto y de algunas estructuras hidráulicas cuya capa superior debe ser apta para resistir los efectos de la abrasión mecánica e hidráulica.



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:

1) 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.

2) 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.

3) Ensayar el uso de un aditivo inclusor de aire, particularmente cuando no sea factible cumplir con la medida anterior.

4) Incrementar el consumo unitario de cemento y/o utilizar un cemento de mayor finura, como el portland tipo III o el 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.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

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.

La duración del tiempo de fraguado del concreto depende de diversos factores extrínsecos dados por las condiciones de trabajo en obra, entre los que destaca por sus efectos la temperatura. En condiciones fijas de temperatura, el tiempo de fraguado puede experimentar variaciones de menor cuantía derivadas del contenido unitario, la clase y la finura del cemento. Así, por ejemplo, tienden a fraguar un poco más rápido:

- a) las mezclas de concreto de alto consumo de cemento que las de bajo consumo.
- b) las mezclas de concreto de cemento portland simple que las de cemento portland-puzolana las mezclas de concreto de cemento portland tipo III que las de portland tipo II.



Sin embargo, normalmente estas variaciones en el tiempo de fraguado son de poca significación práctica y no justifican hacer un cambio de cemento por este solo concepto.

Influencia del cambio de cemento en el proceso de fraguado de la seguido por medio de su resistencia eléctrica. Otro aspecto relacionado con la influencia del cemento sobre el tiempo de fraguado del concreto, se refiere al uso que frecuentemente se hace de aditivos con el fin de alargar ese tiempo en situaciones que lo requieren, como es el caso de los colados de grandes volúmenes de concreto, particularmente cuando se realizan en condiciones de alta temperatura ambiental.

Hay antecedentes en el sentido de que algunos aditivos retardadores del fraguado pueden reaccionar adversamente con ciertos compuestos del cemento, ocasionando una rigidez prematura en la mezcla que dificulta su manejo. Para prevenir este inconveniente, es recomendable verificar mediante pruebas efectuadas anticipadamente, el comportamiento del concreto elaborado con el cemento y el aditivo propuestos.

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. Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento portland.

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 proyecto del concreto a edades que sean congruentes con dichas características.

En ausencia de cemento tipo III, cuya disponibilidad en el mercado local 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. También es posible adelantar la obtención de la resistencia deseada en el concreto, proporcionando la mezcla para una resistencia potencial más alta, ya sea aumentando el consumo unitario de cemento, o empleando un aditivo reductor de agua para disminuir la relación agua/cemento.



### 3.15.8 Generación de calor

En el curso de la reacción del cemento con el agua, o hidratación del cemento, se produce desprendimiento de calor porque se trata de una reacción de carácter exotérmico. Si el calor que se genera en el seno de la masa de concreto no se disipa con la misma rapidez con que se produce, queda un remanente que al acumularse incrementa la temperatura de la masa.

El calentamiento del concreto lo expande, de manera que posteriormente al enfriarse sufre una contracción, normalmente restringida, que genera esfuerzos de tensión capaces de agrietarlo. La posibilidad de que esto ocurra tiende a ser mayor a medida que aumenta la cantidad y velocidad de generación de calor y que disminuyen las facilidades para su pronta disipación. Es decir, el riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y las estructuras tienen gran espesor. Obviamente, la simultaneidad de ambos factores representa las condiciones pésimas en este aspecto.

Consecuentemente con lo anterior, una de las medidas recomendables cuando se trata de construir estructuras voluminosas de concreto consiste en utilizar cementos que comparativamente generen menos calor de hidratación.

En lo referente a los cementos portland-puzolana, su calor de hidratación depende del tipo de clinker que contiene y de la actividad y proporción de su componente puzolánico. De manera general se dice que una puzolana aporta aproximadamente la mitad del calor que genera una cantidad equivalente de cemento. Por consiguiente, cuando se comparan en este aspecto dos cementos,



uno portland y otro portland-puzolana elaborados con el mismo clinker, puede esperarse en el segundo una disminución del calor de hidratación por una cantidad del orden de la mitad del que produciría el clinker sustituido por la puzolana, si bien es recomendable verificarlo mediante prueba directa porque hay casos en que tal disminución es menor de lo previsto.

Para establecer un criterio de clasificación de los cementos portland en cuanto a generación de calor, es pertinente definir ciertos límites. Así, haciendo referencia al calor de hidratación a 7 días de edad, en el portland tipo IV que por definición es de bajo calor puede suponerse alrededor de 60 cal/g; en el extremo opuesto se ubica el portland tipo III con un calor del orden de 100 cal/g, ya medio intervalo se sitúa el portland tipo II sin requisitos especiales con un calor cercano a 80 cal/g, y al cual se le considera de moderado calor de hidratación.

En las condiciones actuales de la producción local, solamente es factible disponer de los cementos portland tipo II y portland-puzolana, para las estructuras de concreto en que se requiere moderar el calor producido por la hidratación del cemento. Sobre esta base, y considerando dos grados de moderación.

### 3.15.9 Resistencia al ataque de los sulfatos

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, menciona Cemex México (2009).

Acidos inorgánicos:

Clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, sulfúrico Rápido

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

Fosfórico Moderado

Carbónico Lento

Acidos orgánicos:

Acético, fórmico, lácteo Rápido

Tánico Moderado

Oxálico, tartárico Despreciable

Soluciones alcalinas:\*

Hidróxido de sodio > 20\ Moderado

Hidróxido de sodio 10-20\, hipoclorito de sodio Lento

Hidróxido de sodio < 10\, hidróxido de amonio Despreciable

Soluciones salinas:

Cloruro de aluminio Rápido

Nitrato de amonio, sulfato de amonio, sulfato de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio Moderado

Cloruro de amonio, cloruro de magnesio, cianuro de sodio Lento

Cloruro de calcio, cloruro de sodio, nitrato de zinc, cromato de sodio Despreciable

Diversas:

Bromo (gas), solución de sulfito Moderado

Cloro (gas), agua de mar, agua blanda - Lento

Amonio (liquido) Despreciable

\*Las soluciones alcalinas pueden ocasionar reacciones del tipo álcaliagregado, en concretos con agregados reactivos con los álcalis.

En cuanto a la selección del cemento apropiado, se sabe que el aluminato tricálcio (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 des integran paulatinamente el concreto. En consecuencia, una manera de inhibir esa reacción consiste en emplear cementos portland con moderado o bajo contenido de C3A, como los tipos II y V, seleccionados de acuerdo con el grado de concentración de los sulfatos en el medio de contacto.

Otra posibilidad consiste en utilizar cementos portland-puzolana de calidad específicamente adecuada para este fin, ya que existe evidencia que algunas puzolanas como las cenizas volante. Clase F son capaces de mejorar la resistencia a los sulfatos del concreto. Hay desde luego abundante información acerca del buen comportamiento que en este aspecto manifiestan los cementos de escoria de alto horno y los aluminosos, pero que no se producen en el país.

### 3.15.10 Estabilidad volumétrica

Una característica indeseable del concreto hidráulico es su predisposición a manifestar cambios volumétricos, particularmente contracciones, que suelen causar agrietamientos en las estructuras. Para corregir este inconveniente, en casos que lo ameritan, se han desarrollado los cementos expansivos que se utilizan en los concretos de contracción compensada, pero que todavía no se producen localmente, menciona Cemex México (2009).

### 3.15.11 Estabilidad química

De tiempo atrás se reconoce que ningún arqueado es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, debido a los diversos



procesos y reacciones químicas que en distinto grado suelen producirse entre ambos. Algunas de estas reacciones son benéficas porque contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta, mejorando las propiedades mecánicas del concreto, pero otras son perjudiciales porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto.

Las principales reacciones químicas que ocurren en el concreto tienen un participante común representado por los álcalis, óxidos de sodio y de potasio, que normalmente proceden del cemento pero eventualmente pueden provenir también de algunos agregados. Por tal motivo, estas reacciones se designan genéricamente como álcali-agregado, y a la fecha se le conocen tres modalidades que se distinguen por la naturaleza de las rocas y minerales que comparten el fenómeno:

Reacciones deletérea

Alcali-sílice

Alcali-agregado Alcali-silicato

Alcali-carbonato

### 3.16 AGUA PARA CONCRETO Y SUS USOS

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea externamente 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.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

Así, normalmente, 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.

### 3.17 REQUISITOS PARA CALIDAD



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 físico-químicas ya sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto, menciona Cemex México (2009).

### 3.17.1 Características físico-químicas

Refiriéndose a las características físico-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. Así, por ejemplo, el USBR considera que si el agua es clara, y no tiene sabor dulce, amargo o salobre, puede ser usada como agua de mezclado o de curado para concreto, sin necesidad de mayores pruebas.



Si el agua no procede de una fuente de suministro de agua potable, se puede juzgar su aptitud como agua para concreto mediante los requisitos físico-químicos contenidos en la Norma Oficial Mexicana NOM C-122(46), recomendados especialmente para aguas que no son potables.

Para el caso específico de la fabricación de elementos de concreto pre esforzado, hay algunos requisitos que son más estrictos en cuanto al límite tolerable de ciertas sales que pueden afectar al concreto y al acero de pre esfuerzo, lo cual también se contempla en las NOM C-252 y NOM C-253.

Para las sales e impurezas que con mayor frecuencia se hallan presentes en las aguas que no son potables, a fin de que no se excedan en el agua que se utilice para la elaboración de concreto.

### 3.17.2 Efectos en el concreto

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.

## 3.18 VERIFICACIÓN DE CALIDAD



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, menciona Cemex México (2009). Sin embargo, puede permitirse que esta verificación se omita en las siguientes condiciones:

1) 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.

2) 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:

3) 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.

4) 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 físico-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 físico-químico, pues frecuentemente proviene del tratamiento de aguas negras o es agua reciclada de procesos industriales, por lo cual puede contener sustancias dañinas al concreto.

Por tal motivo, siempre es necesario verificar la calidad del agua de uso industrial, a menos que tenga antecedentes de uso con buen éxito en la fabricación de concreto.

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 20000 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 110 tipo V y eventualmente, agua de mar en vez de agua dulce.

En casos así, es necesario verificar si el tiempo de fraguado del mortero o del concreto, con el cemento de uso previsto, es adecuado para las condiciones



de obra ya que el exceso d cloruros en el agua de mar tiende a acelerar el fraguado.

Posteriormente, en el curso del suministro, debe implantarse un plan de verificación rutinaria, mediante muestreo y ensaye periódico, de acuerdo con los programas de construcción. El muestreo del agua para esta finalidad, debe conducirse según el método de la NOM C-277, y el análisis correspondiente debe realizarse conforme a la NOM C-283.

### 3.19 AGREGADOS PARA EL CONCRETO

En las mezclas de concreto hidráulico convencional, los agregados suelen representar entre 60 y 75 por ciento, menciona Cemex México (2009), aproximadamente, del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de los agregados ejercen en las del correspondiente concreto.

Una característica importante del concreto es su peso unitario, porque es índice de propiedades que a su vez influyen decisivamente en el empleo que se le da. Como es evidente, dicha característica del concreto depende principalmente del peso específico de los agregados que lo integran.

Si se representa el nivel aproximado que ocupan en la escala de pesos unitarios, cinco diferentes clases de concreto cuyas designaciones, pesos unitarios y usos comunes se indican a continuación.



Esta variedad de usos da lugar a una primera clasificación de los agregados de acuerdo con su peso específico y correspondiente aptitud para producir concretos de las clases indicadas.

Procede hacer notar que tanto los concretos ligeros como el concreto pesado, requieren de agregados especiales y tienen usos específicos que resultan fuera del campo de aplicación que se considera convencional, en el que casi todo el concreto que se utiliza es de peso normal.

Con base en esa consideración, sólo se aborda aquí el tema de los agregados denominados de peso normal, porque son los que se utilizan en la elaboración.

Cada una de estas variedades del concreto de peso normal tiene, en algún aspecto, requisitos propios para sus agregados; sin embargo, los requisitos básicos y más generales son los correspondientes a los agregados para el concreto convencional, porque abarcan el campo de aplicación de mayor amplitud.

Además, los aspectos acerca del comportamiento geológico del concreto, tanto en estado fresco como endurecido, son más bien aplicables al concreto convencional porque se elabora con pastas de cemento de consistencia plástica. Por todo ello, conviene centrar el interés en los agregados de peso normal destinados al, concreto convencional.

### 3.19.1 Clasificación de Agregados



Los agregados de peso normal comúnmente proceden de la desintegración, por causas naturales o medios artificiales, de rocas con peso específico entre 2.4 y 2.8, aproximadamente; de manera que al utilizarlos se obtienen concretos con peso volumétrico, en estado fresco, en el intervalo aproximado de 2200 a 2550 kg./m<sup>3</sup>. Existen diversas características en los agregados, cuyas diferencias permiten clasificarlos e identificarlos. Menciona Cemex México (2009) que las principales características que sirven a tal fin son:

- Por el origen de las rocas

Una primera razón para establecer diferencia entre los agregados, se refiere al distinto origen de las rocas que los constituyen. La definición del origen y la composición de las rocas es un asunto útil y necesario, porque permite inferir ciertos aspectos relacionados con el comportamiento de las mismas al ser utilizadas como agregados en el concreto.

Por su génesis geológica, las rocas se dividen en ígneas, sedimentarias y metamórficas, las que a su vez se subdividen y clasifican en diversos tipos de acuerdo con sus características textuales y mineralógicas.

Las rocas ígneas, o endógenas, proceden de la solidificación por enfriamiento de la materia fundida (magma) y pueden dividirse en dos grupos: las rocas intrusivas, o plutónicas, que provienen del enfriamiento lento que ocurre inmediatamente abajo de la superficie terrestre, y las extrusivas, o volcánicas, que se producen por el enfriamiento rápido del material que es expulsado en las erupciones volcánicas (derrames lávicos y eventos piro clásticos). Las rocas



ígneas se clasifican por su textura, estructura y composición mineralógica y química, de igual modo que las otras clases de rocas.

Las rocas sedimentarias, como su nombre lo indica, son el resultado del proceso de transporte, depósito y eventual litificación, sobre la corteza terrestre, de los productos de intemperismo y erosión de otras rocas preexistentes; proceso que frecuentemente se produce bajo el agua, pero también puede ocurrir en el ambiente atmosférico. Su grado de consolidación puede ser muy variable, desde un estado muy compacto en antiguos sedimentos, hasta un estado prácticamente sin consolidar en sedimentos cuyo proceso es relativamente reciente o no existen condiciones favorables para su consolidación. De acuerdo con el tamaño de sus partículas, estos sedimentos no consolidados se identifican como gravas, arenas, limos y arcillas.

Las rocas metamórficas se forman como consecuencia de procesos que involucran altas presiones y temperaturas y de fuerzas que se generan en la corteza terrestre, cuyos efectos pueden manifestarse sobre rocas ígneas, sedimentarias e inclusive metamórficas previamente formadas. Tales efectos se traducen en alteraciones de la textura, estructura y composición mineralógica, e incluso química, de las rocas originales. Las rocas metamórficas resultantes pueden ser de estructura masiva, pero con mayor frecuencia presentan estructura laminar, o foliada, de manera que al desintegrarse pueden producir fragmentos con tendencia tabular, de acuerdo con su grado de foliación.

Las rocas en general se hallan constituidas por minerales cuyas características permiten reconocerlos y cuantificarlos. Aunque hay algunos casos



de rocas constituidas por un solo mineral, la mayoría se hallan compuestas por varios minerales.

A medida que la roca se fragmenta y las partículas se reducen de tamaño, resulta más difícil identificarla. Así, en los fragmentos con tamaño de grava se conservan la variedad de minerales, la textura y la estructura de la roca original; en las partículas de arena de mayor tamaño todavía es posible que se conserven e identifiquen las características mineralógicas y estructurales de la roca de origen, pero en los granos de arena de menor tamaño solamente resulta factible la identificación de los minerales.

Para definir el origen geológico y la composición minera lógica de las rocas que integran los agregados, y para hacer una estimación preliminar de su calidad físico-química, se acostumbra realizar el examen petrográfico (NOM C-265/ASTM C 295) aplicando una nomenclatura normalizada como la ASTM C 294.

Con base en ésta, se incluye una relación de los principales minerales que de ordinario se hallan presentes en las rocas que son fuente de agregados de peso normal, y en la segunda se hace un resumen de la composición mineralógica y otras características comunes de dichas rocas.

Dado que existen numerosas fuerzas y eventos de la naturaleza capaces de ocasionar la fragmentación de las rocas, los productos fragmentados también suelen presentar variadas características como consecuencia del distinto modo de actuar de las fuerzas y eventos causantes. Esto, sumado a la diversidad de clases y tipos de rocas, da por resultado una amplia variedad de características en los agregados cuya fragmentación es de origen natural.



Algunas de las causas naturales que con mayor frecuencia producen la fragmentación de las rocas, y la denominación que usualmente se da a los productos fragmentados, se indican a continuación.

- Origen de la fragmentación
  - o Acción erosiva de las aguas pluviales, combinada con la erosión hidráulica y mecánica producida por el acarreo de fragmentos a lo largo del curso de las corrientes de agua superficiales.
  - o Acción expansiva del agua al congelarse, combinada con la erosión mecánica producida por el arrastre de fragmentos por medio de la nieve y el hielo en el cauce de los glaciares.
  - o Acción erosiva del agua de mar, combinada con la erosión mecánica producida por el arrastre y acarreo de fragmentos por medio del oleaje, las mareas y las corrientes marinas.
  - o Acción desintegrante debida al diastrofismo y al intemperismo, combinada con la erosión mecánica producida por el transporte de fragmentos por medio del viento.
  - o Fragmentación de la masa de roca fundida (magma) por efecto de las fuerzas que se generan en las erupciones volcánicas.
  - o Aluviones: cantos rodados, gravas arenas, limos y arcillas en depósitos fluviales y lacustres.
  - o Morrenas: bloques, cantos rodados gravas, arenas, limos y arcillas en depósitos glaciales.
  - o Depósitos edlicos: arenas finas, limos y arcillas, que se depositan y acumulan formando dunas y menos.



o Depósitos piroclásticos: grandes fragmentos, bombas y bloques, cenizas volcánicas, que se depositan en las zonas de influencia de los volcanes, de acuerdo con la magnitud de las erupciones.

De estos cinco tipos de depósitos de rocas fragmentadas, los depósitos glaciales son prácticamente inexistentes en México porque su situación geográfica no es propicia para la existencia de glaciares salvo en las laderas de ciertos volcanes cuyas cumbres tienen nieve perpetua. Refiriéndose a los cuatro tipos de depósitos restantes, las condiciones locales de existencia y utilidad como agregados para concreto son en términos generales como enseguida se resume.

Depósitos fluviales y lacustres. Este tipo de depósito constituye la fuente más común de agregados naturales en México, excepto en las regiones donde no existen corrientes superficiales, como ocurre en la Península de Yucatán y en las zonas desérticas y semidesérticas del norte y noroeste de la República.

Los agregados naturales de esta fuente resultan especialmente útiles para la construcción de las centrales hidroeléctricas y en general para todas aquellas obras que los tienen disponibles a distancias razonables. Aunque sus características granulométricas y de limpieza pueden ser muy variables de un depósito a otro, e incluso dentro de un mismo depósito, mediante una acertada selección y un procesamiento adecuado, casi siempre es posible ponerlos en condiciones apropiadas para su utilización en el concreto.

- Por el tamaño de las partículas



Se ha dicho que el concreto hidráulico es la aglutinación mediante una pasta de cemento, menciona Cemex México (2009), de un conjunto de partículas de roca cuyas dimensiones comprenden desde micras hasta centímetros.

Para el caso del concreto convencional, en que se utilizan mezclas de consistencia plástica, la experiencia ha demostrado la conveniencia que dentro de ese intervalo dimensional se hallen representados todos los tamaños de partículas y que, una vez que se ha establecido mediante pruebas la composición del concreto con determinados agregados, debe mantenerse razonablemente uniforme esta composición durante la producción, a fin de que las características y propiedades del concreto resulten dentro de un marco de variación predecible.

Para mantener una adecuada uniformidad en la granulometría de los agregados durante su utilización en la elaboración del concreto, el procedimiento consiste en dividirlos en fracciones que se dosifican individualmente. Puesto que el grado de uniformidad asequible está en función del intervalo abarcado por cada fracción, lo deseable es dividir el conjunto de partículas en el mayor número de fracciones que sea técnica, económica y prácticamente factible.

### 3.19.2 Características de los Agregados

Las características de los agregados según Cemex México (2009) deben ser:

- o Granulometría
- o Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables)
- o Densidad (gravedad específica)



- o Sanidad, Absorción y porosidad
- o Forma de partículas
- o Textura superficial
- o Tamaño máximo
- o Reactividad con los Alcalis
- o Módulo de elasticidad
- o Resistencia a la abrasión
- o Resistencia mecánica (por aplastamiento)
- o Partículas friables y terrones de arcilla
- o Coeficiente de expansión térmica
- o Requerimiento de agua
- o Sangrado
- o Requerimiento de agua
- o Contracción plástica
- o Peso unitario
- o Requerimiento de agua
- o Pérdida de revenimiento
- o Contracción plástica
- o Manejabilidad
- o Requerimiento de agua
- o Sangrado
- o Manejabilidad
- o Requerimiento de agua
- o Segregación
- o Peso unitario
- o Requerimiento de agua
- o Contracción plástica



- o Cambios volumétricos
- o Economía
- o Durabilidad
- o Resistencia mecánica
- o Cambios volumétricos
- o Peso unitario
- o Durabilidad
- o Durabilidad
- o Permeabilidad
- o Resistencia mecánica
- o Cambios volumétricos
- o Economía
- o Resistencia al desgaste
- o Economía
- o Resistencia mecánica
- o Cambios volumétricos
- o Peso unitario
- o Permeabilidad
- o Economía
- o Durabilidad
- o módulo de elasticidad
- o cambios volumétricos
- o Resistencia a la abrasión
- o Durabilidad
- o resistencia mecánica
- o Resistencia mecánica
- o Durabilidad



- o Eventos superficiales
- o Propiedades térmicas

### 3.19.3 Agregado fino

La composición granulométrica de la arena se acostumbra analizar mediante su separación en siete fracciones, cribándola a través de mallas normalizadas como "serie estándar", menciona Cemex México (2009), cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 mm (NOM M o. 150/ASTM No.100). De esta manera, para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto (NOM C-111/ASTM C 33), requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente.

De esta manera, para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto (NOM C-111/ASTM C 33)(42, 43) requieren que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente. Dichos límites, que definen el huso granulométrico.

Criterio rígido la aceptación de la arena con base en esta característica, sino de preferencia dejar abierta la posibilidad de que puedan emplear arenas con ciertas deficiencias granulométricas, siempre y cuando no exista la alternativa de una arena mejor graduada, y se demuestre mediante pruebas que la arena en cuestión permite obtener concreto de las características y propiedades requeridas a costo razonable.



- a. Agregados naturales
- b. Agregado grueso

De igual modo que en el caso de la arena, es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, si bien los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena.

Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por mallas cuyas aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaño a fin de compararla con los límites granulométricos que le sean aplicables.

Para la utilización de la grava en la elaboración del concreto, se acostumbra subdividirla en fracciones que se manejan y dosifican individualmente en proporciones adecuadas para integrar la curva granulométrica requerida en la grava total.

De acuerdo con lo anterior, cuando se verifica la granulometría de una muestra de grava, pueden presentarse dos casos que ameritan la aplicación de criterios de juicio diferentes. El primer caso es cuando se analiza una muestra de grava integral procedente de una determinada fuente de suministro propuesta y se requiere juzgar si contiene todos los tamaños en proporciones adecuadas para integrar la granulometría requerida en el concreto, o si es posible considerar la



trituration de tamaños mayores en exceso para producir tamaños menores faltantes, o bien si resulta necesario buscar otra fuente de suministro para substituir O complementar las deficiencias de la fuente en estudio.

El segundo caso se refiere a la verificación granulométrica de fracciones individuales de grava, previamente cribadas a escala de obra, a fin de comprobar principalmente si el proceso de separación por cribado se realiza con la precisión especificada dentro de sus correspondientes intervalos nominales. En tal caso, debe prestarse atención especial a la cuantificación de los llamados defectos de clasificación representados por las partículas cuyas dimensiones resultan fuera del intervalo nominal de la fracción, y para los cuales hay limitaciones específicas.

A las partículas menores que el límite inferior del intervalo se les denomina subtamaño nominal ya las mayores que el límite superior del intervalo, sobretamaño nominal.

### 3.20 MATERIALES CONTAMINANTES

Existen diversos materiales que con cierta frecuencia acompañan a los agregados, y cuya presencia es inconveniente por los efectos adversos que producen en el concreto. Entre dichos materiales contaminantes, los más comunes son los finos indeseables (limo y arcilla), la materia orgánica, el carbón y el lignito, las partículas ligeras y los terrones de arcilla y otras partículas desmenuzables, menciona Cemex México (2009).

Si bien lo deseable es disponer de agregados completamente libres de estas materias perjudiciales, en la práctica esto no siempre es factible, por lo cual



se hace necesario tolerarlas en proporciones suficientemente reducidas para que sus efectos nocivos resulten poco significativos.

- Limo y arcilla

El limo es el material granular fino, sin propiedades plásticas, cuyas partículas tienen tamaños normalmente comprendidos entre 2 y 60 micras aproximadamente, en tanto que la arcilla corresponde al material más fino, integrado por partículas que son menores de 2 micras y que sí posee propiedades plásticas.

- Materia orgánica

La materia orgánica que contamina los agregados suele hallarse principalmente en forma de humus, fragmentos de raíces y plantas, y trozos de madera. La contaminación excesiva con estos materiales, básicamente en la arena, ocasiona interferencia en el proceso normal de hidratación del cemento, afectando la resistencia y durabilidad del concreto.

- Partículas inconvenientes

Además de los contaminantes ya mencionados, hay fragmentos de materiales de calidad inadecuada que con cierta frecuencia se encuentran en los agregados, principalmente en los de origen natural. Entre dichos materiales inconvenientes cabe mencionar las partículas suaves y desmenuzables, como los terrones de arcilla y los fragmentos de rocas alteradas, las partículas ligeras como las de carbón y lignito y las de rocas muy porosas y débiles.



- Sales inorgánicas

Las sales inorgánicas que ocasionalmente pueden hallarse como contaminación en los agregados de origen natural son los sulfatos y los cloruros, principalmente estos últimos, como ocurre en los agregados de procedencia marina. La presencia excesiva de estas sales en el seno del concreto es indeseable por los daños que pueden ocasionar, si bien difieren en su forma de actuar y en la manifestación e intensidad de sus efectos.

- Calidad física intrínseca

Al examinar la aptitud física de los agregados en general, es conveniente diferenciar las características que son inherentes a la calidad esencial de las rocas constitutivas, de los aspectos externos que corresponden a sus fragmentos. Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas, destacan su peso específico, sanidad, porosidad y absorción, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, módulo de elasticidad y propiedades térmicas.

- Peso específico

Es frecuente citar el término densidad al referirse a los agregados, pero aplicado más bien en sentido conceptual. Por definición, la densidad de un sólido es la masa de la unidad de volumen de su porción impermeable, a una temperatura especificada, y la densidad aparente es el mismo concepto, pero utilizando el peso en el aire en vez de la masa. Ambas determinaciones suelen expresarse en gramos entre centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) y no son rigurosamente



aplicadas en las pruebas que normalmente se utilizan en la tecnología del concreto, salvo en el caso del cemento y otros materiales finamente divididos.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
**SEP**

- Porosidad y absorción

La porosidad de un cuerpo sólido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen. Todas las rocas que constituyen los agregados de peso normal son porosas en mayor o menor grado, pero algunas poseen un sistema de poros que incluye numerosos vacíos relativamente grandes (visibles al microscopio), que en su mayoría se hallan interconectados, y que las hace permeables. De este modo algunas rocas, aunque poseen un bajo porcentaje de porosidad, manifiestan un coeficiente de permeabilidad comparativamente alto, es decir, más que el contenido de vacíos influye en este aspecto su forma, tamaño y distribución. Por ejemplo, una roca de estructura granular con 1 por ciento de porosidad, puede manifestar el mismo coeficiente de permeabilidad al agua, que una pasta de cemento hidratada con 50 por ciento de porosidad pero con un sistema de poros submicroscópicos.

- Sanidad

Entre los atributos que permiten definir la calidad física intrínseca de las rocas que constituyen los agregados, tiene mucha importancia la sanidad porque es buen índice de su desempeño predecible en el concreto.

En la terminología aplicable, la sanidad se define como la condición de un sólido que se halla libre de grietas, defectos y fisuras. Particularizando para el



caso de los agregados, la sanidad se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente la que corresponde al intemperismo. En estos términos, resulta evidente la estrecha relación que se plantea entre la sanidad de los agregados y la durabilidad del concreto en ciertas condiciones.

- Resistencia mecánica

De acuerdo con el aspecto general del concreto convencional, en este concreto las partículas de los agregados permanecen dispersas en la pasta de cemento y de este modo no se produce cabal contacto permanente entre ellas. En tal concepto, la resistencia mecánica del concreto endurecido, especialmente a compresión, depende más de la resistencia de la pasta de cemento y de su adherencia con los agregados, que de la resistencia propia de los agregados solos. Sin embargo, cuando se trata del concreto de muy alta resistencia, con valores superiores a los 500 kg. /cm<sup>2</sup>, o del concreto compactado con rodillo (CCR) en que si se produce contacto entre las partículas de los agregados, la resistencia mecánica de éstos adquiere mayor influencia en la del concreto.

- Resistencia a la abrasión

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general, y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo. Asimismo, se le considera un buen indicio de su aptitud para soportar sin daño, las acciones de



quebrantamiento que frecuentemente recibe el agregado grueso en el curso de su manejo previo a la fabricación del concreto.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

- Módulo de elasticidad

Las propiedades elásticas del agregado grueso, son características que interesan en la medida que afectan las correspondientes del concreto endurecido, en particular su módulo de elasticidad y su relación de Poisson.

- Propiedades térmicas

El comportamiento del concreto sometido a cambios de temperatura, resulta notablemente influido por las propiedades térmicas de los agregados; sin embargo, como estas propiedades no constituyen normalmente una base para la selección de los agregados, lo procedente es verificar las propiedades térmicas que manifiesta el concreto, para tomarlas en cuenta al diseñar aquellas estructuras en que su influencia es importante. Entre las propiedades térmicas del concreto, la que interesa con mayor frecuencia para todo tipo de estructuras sujetas a cambios significativos de temperatura, es el coeficiente de expansión térmica lineal, que se define como el cambio de dimensión por unidad de longitud, que ocurre por cada grado de variación en la temperatura, y que se expresa de ordinario en millonésima/°C.

### 3.21 TAMAÑO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS

En un conjunto de partículas de agregados para concreto, es pertinente distinguir entre el tamaño máximo efectivo y el que se designa como tamaño



máximo nominal. El primero se identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente.

La determinación de este tamaño máximo es necesaria cuando se analizan granulométricamente muestras representativas de depósitos naturales, a fin de conocer el tamaño máximo disponible en el depósito en estudio; y su verificación es una medida de control indispensable durante el suministro del agregado grueso ya clasificado, previamente a su empleo en la fabricación del concreto, para prevenir que se le incorporen partículas mayores de lo permitido, que pueden ocasionar dificultades en su elaboración, manejo y colocación.

El tamaño máximo nominal del agregado es el que se designa en las especificaciones como tamaño máximo requerido para el concreto de cada estructura en particular, y se define de acuerdo con diversos aspectos tales como las características geométricas y de refuerzo de las estructuras, los procedimientos y equipos empleados para la colocación del concreto, el nivel de la resistencia mecánica requerida en el concreto, etc.

Debido a la dificultad práctica de asegurar una dimensión máxima precisa en el tamaño de las partículas durante la clasificación y el suministro del agregado grueso, es usual conceder una tolerancia dimensional con respecto al tamaño máximo nominal, pero limitando la proporción de partículas que pueden excederlo. De esta manera, no basta con especificar el tamaño máximo nominal, sino que también es necesario definir el tamaño máximo efectivo permisible y la proporción máxima de partículas que puede admitirse entre el tamaño máximo nominal y el efectivo, es decir, lo que constituye el sobretamaño nominal tolerable.

Los agregados de peso normal comúnmente proceden de la desintegración, por causas naturales o medios artificiales, de rocas con peso específico entre 2.4 y 2.8, aproximadamente; de manera que al utilizarlos se obtienen concretos con peso volumétrico, en estado fresco, en el intervalo aproximado de 2200 a 2550 kg./m<sup>3</sup>. Existen diversas características en los agregados, cuyas diferencias permiten clasificarlos e identificarlos. Las principales características que sirven a tal fin, se indican a continuación:

### 3.22 ADITIVOS PARA EL CONCRETO

Debido a que los componentes básicos del concreto hidráulico son el cemento, el agua y los agregados, cualquier otro ingrediente que se incluya en su elaboración pueden ser considerados, literalmente hablando, como un aditivo, menciona Cemex México (2009).

Sin embargo, en la práctica del concreto hidráulico convencional, no se consideran aditivos las puzolanas y las escorias cuando forman parte de un cemento portland-puzolana. Portland-escoria, ni tampoco las fibras de refuerzo porque dan origen a concretos que no se consideran convencionales.

Con estas salvedades, resulta válida la definición propuesta por el Comité ACI 116, según la cual un aditivo es un material distinto del agua, los agregados, el cemento hidráulico y las fibras de refuerzo, que se utiliza como ingrediente del mortero o del concreto, y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado.



### 3.22.1 Usos de los Aditivos

El comportamiento y las propiedades del concreto hidráulico, en sus estados fresco y endurecido, suelen ser influidos y modificados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos.

Los intrínsecos se relacionan esencialmente con las características de los componentes y las cantidades en que éstos se proporcionan para elaborar el concreto. En cuanto a los extrínsecos, pueden citarse principalmente las condiciones ambientales que prevalecen durante la elaboración y colocación del concreto, las prácticas constructivas que se emplean en todo el proceso desde su elaboración hasta el curado, y las condiciones de exposición y servicio a que permanece sujeta la estructura durante su vida útil.

Algunos de estos factores pueden ser objeto de maniobra por parte del usuario del concreto, pero otros no. Por ejemplo, los aspectos relativos a la composición del concreto ya las prácticas constructivas son factores susceptibles de ajuste y adaptación, en tanto los que corresponden al medio ambiente ya las condiciones de exposición y servicio, por lo general son factores fuera del control del usuario.

De acuerdo con este planteamiento, para influir en el comportamiento y las propiedades del concreto, a fin de adaptarlos a las condiciones externas, se dispone principalmente de dos recursos:

- 1) La selección y uso de componentes idóneos en el concreto, combinados en proporciones convenientes.



2) El empleo de equipos, procedimientos, y prácticas constructivas en general, de eficacia comprobada y acordes con la obra que se construye.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
**SEP**

El uso de aditivos queda comprendido dentro del primer recurso y normalmente representa una medida opcional, para cuando las otras medidas no alcanzan a producir los efectos requeridos, en función de las condiciones externas actuales o futuras.

Es decir, la práctica recomendable para el uso de los aditivos en el concreto, consiste en considerarlos como un medio complementario y no como un sustituto de otras medidas primordiales, tales como el uso de un cemento apropiado, una mezcla de concreto bien diseñada, o prácticas constructivas satisfactorias.

Según los informes del Comité ACI 212, menciona Cemex México (2009), los aditivos suelen emplearse en la elaboración de concretos, morteros o mezclas de inyección, no sólo para modificar sus propiedades en los estados fresco y endurecido, sino también por economía, para ahorrar energía y porque hay casos en que el uso de un aditivo puede ser el único medio factible para obtener el resultado requerido, citando como ejemplos la defensa contra la congelación y el deshielo, el retardo o la aceleración en el tiempo de fraguado y la obtención de muy alta resistencia.

### **3.23 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO**

Endurecimiento del concreto con la edad. La combinación del cemento con el agua de la mezcla se realiza lentamente lográndose hidratar a los 30 días en las



mejores condiciones del laboratorio, sólo un poco más del 80% del cemento empleado.

En el transcurso del tiempo, el cemento continúa su proceso de hidratación tomando el agua necesaria del ambiente atmosférico, corriendo parejas con su propio endurecimiento y formando una curva asintótica a los valores más elevados de la fatiga de ruptura.

Los concretos fabricados con cemento Tipo m, Alta Resistencia Rápida, alcanzan a los 7 días la resistencia correspondiente a los 28 días del cemento Tipo I, pero a los dos años ambas resistencias son prácticamente iguales.

Se ha formado con valores medios obtenidos de la ruptura a la compresión de cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, fabricados y curados de acuerdo con la especificación A.S.T.M. c-192-49.

Cuando se efectúa la ruptura del cilindro a los 28 días de colado, la fatiga correspondiente a esa ruptura se representa por  $f'$  " y constituye el valor base al cual se refieren las especificaciones.

El cemento aluminoso se caracteriza por su rápido endurecimiento y su elevada resistencia a las 24 horas. Esto hace que su empleo nos economice madera y tiempo de entrega de las obras.

Por su gran resistencia a los agentes químicos, particularmente a las aguas de mar y sulfatadas, se le emplea en estos casos en lugar del cemento Portland



normal. Por su insensibilidad a las bajas temperaturas, es muy empleado en los lugares fríos.

El fraguado de estos cementos se acelera con: Hidróxido de calcio, hidróxido sódico, carbonato sódico, etc., y se retarda con: cloruro sódico, cloruro potásico, cloruro bórico, etc.

La azúcar, adicionada en 1 %, es capaz de retrasar el fraguado un día o más. Su peso específico es 3.3 y su peso volumétrico varía entre 1 300 y 1 400 kg/m<sup>3</sup>.

Cementos puzolánicos. Los cementos puzolánicos se preparan moliendo juntos mezclas de clinker de cemento.

La trabajabilidad debe ser juzgada con base en la medida del revenimiento, considerando las tolerancias señaladas anteriormente en el capítulo de Especificaciones. La muestra y la prueba deben realizarse de acuerdo con la norma NMX C-156 "Determinación del revenimiento del concreto fresco".

Cuando se utilizan otras pruebas -además de la del revenimiento para verificar los requerimientos de trabajabilidad, éstas deben ser establecidas de común acuerdo entre el comprador y el productor.

### **3.24 PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO**

Cuando se requiera conocer el peso unitario del concreto por razones de algún convenio, éste debe ser medido de acuerdo con la norma NMX C-162



"Determinación del peso unitario, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico", menciona Cemex México (2009).

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

El volumen del concreto representado por la muestra debe ser considerado como satisfactorio si el cálculo arrojado, realizado con el valor del peso unitario determinado, brinda un valor con una aproximación del  $\pm 2\%$ .

### 3.25 TEMPERATURA DEL CONCRETO FRESCO

Se puede especificar, como medida opcional, la temperatura dentro de ciertos límites para condiciones especiales, y debe ser medida a través de una muestra representativa obtenida de acuerdo con la norma NMX C-161 "Muestreo del concreto fresco", menciona Cemex México (2009).

Este requisito por parte del productor se establece mediante previo convenio especial. Se considerará adecuado el volumen de concreto representado por la muestra si tiene una temperatura de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  del valor especificado.

### 3.26 CONCRETO RECIÉN MEZCLADO

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colocarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición de "plástico" aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para moldar, menciona Cemex México (2009)



En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra que eran encajonados y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona si no que fluye como líquido viscoso sin segregarse.

### 3.26.1 Mezclado

Los 5 componentes básicos, menciona Cemex México (2009), del concreto se muestran separadamente en la figura " A " para asegurarse que estén combinados en una mezcla homogénea se requiere de esfuerzo y cuidado. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora representa un papel importante en la uniformidad del producto terminado. Sin embargo, se puede variar esa secuencia y aun así producir concreto de calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el tiempo de adicionamiento de agua, en el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora, y en la velocidad de revolución.

Otros factores importantes en el mezclado son el tamaño de la revoltura en la relación al tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre la dosificación y el mezclado, el diseño, la configuración y el estado del tambor mezclador y las paletas.

Las mezcladoras aprobadas, con operación y mantenimiento correcto, aseguran un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una



acción de rolado, plegado y amasado de la revoltura sobre si misma a medida que se mezcla el concreto.

### 3.26.2 Trabajabilidad

La facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado. se denomina trabajabilidad.

El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales Sólidos - Cemento, arena y piedra dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

Un sangrado excesivo aumenta la relación Agua - Cemento cerca de la superficie superior, pudiendo dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se lleva a cabo las operaciones de acabado mientras está presente el agua de sangrado. Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y sangrar, es importante transportar y colocar cada carga lo más cerca posible de su posición final. El aire incluido mejor a la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y sangrar.

### 3.26.3 Consolidación

La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades movílices de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de la mezcla dura



que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento es necesaria. Con una consolidación adecuada de las mezclas más duras y ásperas pueden ser empleadas, lo que tiene como resultado una mayor calidad y economía.

El vibrado mecánico tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que no son fáciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

#### 3.26.4 Hidratación, Tiempo de Fraguado, Endurecimiento

La propiedad de liga de las pastas de cemento Portland se debe a la reacción química entre el cemento y el agua llamada hidratación.

El cemento Portland no es un compuesto químico simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% o más del peso del cemento Portland y son: el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminio ferrito tetracálcico. Además de estos componentes principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los tipos de cemento Portland contienen los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.



En invierno, el calor de hidratación ayudara a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer. El cemento Portland tipo 1 un poco más de la mitad de su calor total de hidratación en tres días. El cemento tipo 3, de alta resistencia temprana, libera aproximadamente el mismo porcentaje de su calor en mucho menos de tres días. El cemento tipo 2, un cemento de calor moderado, libera menos calor total que los otros y deben pasar mas de tres días para que se libere únicamente la mitad de ese calor. El uso de cemento tipo 4, cemento Portland de bajo calor de hidratación, se debe de tomar en consideración donde sea de importancia fundamental contar con un bajo calor de hidratación.

### **3.27 CONCRETO ENDURECIDO**

#### **3.27.1 Curado Húmedo**

El aumento de resistencia continuara con la edad mientras esté presente algo de cemento sin hidratar, menciona Cemex México (2009), a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en



que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada, debido a que el concreto es difícil de resaturar.

### 3.27.2 Velocidad de Secado del Concreto

El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto (o de manera precisa, el cemento en el contenido) requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente está relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia; el hecho de que este seco, no es indicación de que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas.

El conocimiento de la velocidad de secado es útil para comprender las propiedades o la condición física del concreto. Por ejemplo, tal como se mencionó, el concreto debe seguir reteniendo suficiente humedad durante todo el periodo de curado para que el cemento pueda hidratarse. El concreto recién colado tiene agua abundante, pero a medida de que el secado progresa desde la superficie hacia el interior, el aumento de resistencia continuara a cada profundidad únicamente mientras la humedad relativa en ese punto se mantenga por encima del 80%.

La superficie de un piso de concreto que no ha tenido suficiente curado húmedo es una muestra común. Debido a que se seca rápidamente, el concreto de la superficie es débil y se produce descascamiento en partículas finas provocado por el tránsito. Asimismo, el concreto se contrae al, secarse, del mismo modo que lo hacen la madera, papel y la arcilla (aunque no tanto). La contracción



por secado es una causa fundamental de agrietamiento, y le ancho de las grietas es función del grado del secado.

### 3.27.3 Peso Unitario

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 kg por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>). El peso unitario (densidad) del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 kg/m<sup>3</sup>.

El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua permanece retenida herméticamente en poros y capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora al aire a una humedad relativa del 50% es de aproximadamente 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo del contenido inicial de agua del concreto, de las características de absorción de los agregados, y del tamaño de la estructura.

Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos



aisladores ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m<sup>3</sup>, a concretos pesados con pesos unitarios de 6400 kg/m<sup>3</sup>, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

#### 3.27.4 Resistencia a Congelación y Deshielo

Del concreto utilizado en estructuras y pavimentos, se espera que tenga una vida larga y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo mas destructivo es la congelación y el deshielo mientras el concreto se encuentra húmedo, particularmente cuando se encuentra con la presencia de agentes químicos descongelantes. El deterioro provocado por el congelamiento del agua en la pasta, en las partículas del agregado o en ambos.

Con la inclusión de aire es sumamente resistente a este deterioro. Durante el congelamiento, el agua se desplaza por la formación de hielo en la pasta se acomoda de tal forma que no resulta perjudicial; las burbujas de aire en la pasta suministran cámaras donde se introduce el agua y así se alivia la presión hidráulica generada.

El concreto con aire incluido es mucho más resistente a los ciclos de congelación y deshielo que el concreto sin aire incluido, el concreto con una relación Agua - Cemento baja es más durable que el concreto con una relación Agua - Cemento alta, (3) un periodo de secado antes de la exposición a la congelación y el deshielo beneficia sustancialmente la resistencia a la congelación y deshielo beneficia sustancialmente la resistencia a la congelación y el deshielo del concreto con aire incluido , pero no beneficia de manera significativa al



concreto sin aire incluido. El concreto con aire incluido con una relación Agua - Cemento baja y con un contenido de aire de 4% a 8% soportará un gran número de ciclos de congelación y deshielo sin presentar fallas.

### 3.27.5 Permeabilidad y Hermeticidad

El concreto empleado en estructuras que retengan agua o que estén expuestas a mal tiempo o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se define a menudo como la capacidad del concreto de refrenar o retener el agua sin escapes visibles. La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.). Generalmente las mismas propiedades que convierten al concreto menos permeable también lo vuelven más hermético.

La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la permeabilidad de la pasta, de la permeabilidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto a la resaturación, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro.

### 3.27.6 Resistencia al Desgaste

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o



desgaste está estrechamente relacionada con la resistencia a la compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación Agua - Cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con llana de metal resistente más el desgaste que una que no lo ha sido. Se pueden conducir ensayos de resistencia a la abrasión rotando balines de acero, ruedas de afilar o discos a presión sobre la superficie (ASTM 779). Se dispone también de otros tipos de ensayos de resistencia a la abrasión (ASTM C418 y C944).

### 3.27.7 Estabilidad Volumétrica

El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%. En el concreto endurecido los cambios de volumen por temperatura son casi para el acero.

El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilata ligeramente. Cuando se permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por el secado aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua.



La magnitud de la contracción también depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación, y tiempo. El contenido de cemento tiene un efecto mínimo a nulo sobre la contracción por secado para contenidos de cemento entre 280 y 450 kg por metro cúbico.

Cuando el concreto se somete a esfuerzo, se deforma elásticamente. Los esfuerzos sostenidos resultan en una deformación adicional llamada fluencia. La velocidad de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo.

### 3.27.8 Control de Agrietamiento

Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son esfuerzos debidos a cargas aplicadas y esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción, menciona Cemex México (2009).

La contracción por secado es una propiedad inherente e inevitable del concreto, por lo que se utiliza acero de refuerzo colocado en una posición adecuada para reducir los anchos de grieta, o bien juntas que predetermine y controlen la ubicación de las grietas. Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente en edades tempranas.

### 3.27.9 Agua de Mezclado Para el Concreto



Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

Se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma ASTM C109), producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días iguales a al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada.

#### 3.27.10 Carbonatos y Bicarbonatos Alcalinos

El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto.

Cuando la suma de las sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días. También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali - agregado graves.

#### 3.27.11 Cloruros

La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que los iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los torones del prefuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto.



Los cloruros se pueden introducir en el concreto, ya sea con los ingredientes separados - aditivos, agregados, cemento, y agua - o a través de la exposición a las sales anticongelantes, al agua de mar, o al aire cargado de sales cerca de las costas.

El agua que se utilice en concreto preforzado o en un concreto que vaya a tener embebido aluminio no deberá contener cantidades nocivas de ion cloruro. Las aportaciones de cloruros de los ingredientes distintos al agua también se deberán tomar en consideración. Los aditivos de cloruro de calcio se deberán emplear con mucha precaución.

El Reglamento de Construcción del American Concrete Institute, ACI 318, limita el contenido de ion cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento.

### 3.28 CONCRETO PREFORZADO

El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a las posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos. Aunque se ha empleado satisfactoriamente aguas que contenían 10,000 ppm de sulfatos de sodio.

#### 3.28.1 Otras Sales Comunes

Los carbonatos de calcio y de magnesio no son muy solubles en el agua y rara vez se les encuentra en concentraciones suficientes para afectar la



resistencia del concreto. En algunas aguas municipales se pueden encontrar bicarbonatos de calcio y de magnesio. No se consideran dañinas las concentraciones inferiores o iguales a 400 ppm de bicarbonato en estas formas.

Se han obtenido buenas resistencias con concentraciones hasta de 40,000 ppm de cloruro de magnesio. Las concentraciones e sulfato de magnesio deberán ser inferiores a 25,000 ppm.

### 3.28.2 Sales de Hierro

Las aguas freáticas naturales rara vez contienen más de 20 a 30 ppm de hierro; sin embargo, las aguas de mina ácidas pueden contener cantidades muy grandes. Las sales de hierro en concentraciones hasta 40,000 ppm normalmente no afectan de manera adversa al desarrollo de la resistencia.

### 3.28.3 Diversas Sales Inorgánicas

Las sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo presentes en el agua pueden provocar una reducción considerable en la resistencia y también grandes variaciones en el tiempo de fraguado.

De estas, las más activas son las sales de zinc, de cobre y de plomo. Las sales que son especialmente activas como retardantes, incluyen el yodato de sodio, fosfato de sodio, arsenato de sodio y borato de sodio.

Generalmente se pueden tolerar en el agua de mezclado concentraciones de estas sales hasta de 500 ppm.



Otra sal que puede ser dañina al concreto es el sulfuro de sodio, aun la presencia de 100 ppm requiere de ensayos.

#### 3.28.4 Agua de Mar

Aun cuando un concreto hecho con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores (después de 28 días) pueden ser inferiores. Esta reducción de resistencia puede ser compensada reduciendo la relación agua - cemento.

El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concreto preforzados debido al riesgo de corrosión del esfuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos.

El agua de mar que se utiliza para producir concreto, también tiende a causar eflorescencia y humedad en superficies de concreto expuestas al aire y al agua.

#### 3.28.5 Aguas Ácidas

En general, el agua de mezclado que contiene ácidos clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones inferiores a 10,000 ppm no tiene un efecto adverso en la resistencia. Las aguas acidas con valores pH menores que 3.0 pueden ocasionar problemas de manejo y se deben evitar en la medida de lo posible.

### 3.28.6 Aguas Alcalinas

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio de 0.5% el peso del cemento, no afecta en gran medida a la resistencia del concreto toda vez que no ocasionen un fraguado rápido. Sin embargo, mayores concentraciones pueden reducir la resistencia del concreto.

El hidróxido de potasio en concentraciones menores a 1.2% por peso de cemento tiene poco efecto en la resistencia del concreto desarrollada por ciertos cementos, pero la misma concentración al ser usada con otros cementos puede reducir sustancialmente la resistencia a los 28 días.

### 3.28.7 Aguas de Enjuague

La Agencia de Protección Ambiental y las agencias estatales de los EEUU prohíben descargar en las vías fluviales, aguas de enjuague no tratadas que han sido utilizadas para aprovechar la arena y la grava de concretos regresados o para lavar las mezcladoras.

### 3.28.8 Aguas de Desperdicios Industriales

La mayor parte de las aguas que llevan desperdicios industriales tienen menos de 4,000 ppm de sólidos totales. Cuando se hace uso de esta agua como aguas de mezclado para el concreto, la reducción en la resistencia a la compresión generalmente no es mayor que del 10% al 15%.

### 3.28.9 Aguas Negras



Las aguas negras típicas pueden tener aproximadamente 400 ppm de materia orgánica. Luego que esta aguas se han diluido en un buen sistema de tratamiento, la concentración se ve reducida aproximadamente 20 ppm o menos. Esta cantidad es demasiado pequeña para tener efecto de importancia en la resistencia.

### 3.28.10 Impurezas Orgánicas

El efecto que las sustancias orgánicas presentes en las aguas naturales puedan tener en el tiempo de fraguado del cemento Portland o en la resistencia última del concreto, es un problema que presenta una complejidad considerable. Las aguas que estén muy coloreadas, las aguas con un olor notable o aquellas aguas en que sean visibles algas verdes o cafés deberán ser vistas con desconfianza y en consecuencia ensayadas.

### 3.28.11 Azúcar

Una pequeña cantidad de sacarosa, de 0.03% a 0.15% del peso del cemento, normalmente retarda el fraguado del cemento. El límite superior de este rango varía respecto de los distintos cementos. La resistencia a 7 días puede verse reducida, en tanto que la resistencia a los 28 días aumentaría. El azúcar en cantidades de 0.25% o más del peso del cemento puede provocar un fraguado rápido y una reducción sustancial de la resistencia a los 28 días. Cada tipo de azúcar afecta al tiempo de fraguado y a la resistencia de manera distinta.



Menos de 500 ppm de azúcar en el agua de mezclado, generalmente no producen un efecto adverso en el desarrollo de la resistencia, pero si la concentración sobrepasa esta cantidad, se deberán realizar ensayos para analizar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia.

### 3.28.12 Sedimentos o Partículas en Suspensión

Se puede tolerar en el agua aproximadamente 2,000 ppm de arcilla en suspensión o de partículas finas de roca. Cantidades mayores no afectarían la resistencia, pero bien influyen sobre otras propiedades de algunas mezclas de concreto. Antes ser empleada, cualquier agua lodosa deberá pasar a través de estanques de sedimentación o deberá ser clarificada por cualquier otro medio para reducir la cantidad de sedimentos y de arcilla agregada a la mezcla. Cuando se regresan finos de cemento al concreto en aguas de enjuague recicladas, se pueden tolerar 50,000 ppm.

### 3.28.13 Agregados

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm.

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 38mm. Algunos depósitos naturales de



agregado, a veces llamados gravas de mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Un material es una sustancia sólida natural que tiene estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de los límites muy estrechos, menciona Cemex México (2009). Las rocas (que dependiendo de su origen se pueden clasificar como ígneas, sedimentarias o metamórficas), se componen generalmente de varios materiales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros cuantos minerales; la mayor parte de las calizas consisten en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo, y arcilla.

El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tiene



baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

### 3.29 GRANULOMETRÍA

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136), menciona Cemex México (2009). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

#### 3.29.1 Granulometría de los Agregados Finos



Depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad.

En general, si la relación agua - cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30mm (No. 50) y de 15mm (No. 100) sean reducidos a 15% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

1): El agregado que se emplee en un concreto que contenga más de 296 Kg de cemento por metro cubico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.

2): Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, el agregado fino se deberá rechazar a menos de que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones el agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 1.15 mm (No. 100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto.



El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el modo de finura, más grueso será el agregado.

El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

### 3.29.2 Granulometría de los Agregados Gruesos

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso.

El número de tamaño de la granulometría (o tamaño de la granulometría). El número de tamaño se aplica a la cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un arreglo mallas.

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de

tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm.

De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- 1): Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- 2): Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- 3): Un tercio del peralte de las losas.

### 3.29.3 Agregado con Granulometría Discontinua

Consisten en solo un tamaño de agregado grueso siendo todas las partículas de agregado fino capaces de pasar a través de los vacíos en el agregado grueso compactado. Las mezclas con granulometría discontinua se utilizan para obtener texturas uniformes en concretos con agregados expuestos. También se emplean en concretos estructurales normales, debido a las posibles mejoras en densidad, permeabilidad, contracción, fluencia, resistencia, consolidación, y para permitir el uso de granulometría de agregados locales.

Para un agregado de 19.0 mm de tamaño máximo, se pueden omitir las partículas de 4.75 mm a 9.52 mm sin hacer al concreto excesivamente áspero o propenso a segregarse. En el caso del agregado de 38.1 mm, normalmente se omiten los tamaños de 4.75 mm a 19.0 mm.



Una elección incorrecta, puede resultar en un concreto susceptible de producir segregación o alveolado debido a un exceso de agregado grueso o en un concreto de baja densidad y alta demanda de agua provocada por un exceso de agregado fino. Normalmente el agregado fino ocupa del 25% al 35% del volumen del agregado total, menciona Cemex México (2009).

Para un acabado terso al retirar la cimbra, se puede usar un porcentaje de agregado fino respecto del agregado total ligeramente mayor que para un acabado con agregado expuesto, pero ambos utilizan un menor contenido de agregado fino que las mezclas con granulometría continúan. El contenido de agregado fino depende del contenido del cemento, del tipo de agregado, y de la trabajabilidad.

Para mantener la trabajabilidad normalmente se requiere de inclusión de aire puesto que las mezclas con granulometría discontinua con revenimiento bajo hacen uso de un bajo porcentaje de agregado fino y a falta de aire incluido producen mezclas ásperas.

Se debe evitar la segregación de las mezclas con granulometría discontinua, restringiendo el revenimiento al valor mínimo acorde a una buena consolidación. Este puede variar de cero a 7.5 cm dependiendo del espesor de la sección, de la cantidad de refuerzo, y de la altura de colado.

Si se requiere una mezcla áspera, los agregados con granulometría discontinua producen mayores resistencias que los agregados normales empleados con contenidos de cemento similares.



Sin embargo, cuando han sido proporcionados adecuadamente, estos concretos se consolidan fácilmente por vibración.

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### 3.29.4 Forma de Partícula y Textura Superficial

Para producir un concreto trabajable, las partículas alargadas, angulares, de textura rugosa necesitan más agua que los agregados compactos, redondeados y lisos. En consecuencia, las partículas de agregado que son angulares, necesitan un mayor contenido de cemento para mantener la misma relación agua - cemento. La adherencia entre la pasta de cemento y un agregado generalmente aumenta a medida que las partículas cambian de lisas y redondeadas a rugosas y angulares.

### 3.29.5 Peso Volumétrico y Vacíos

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado.

### 3.29.6 Peso Específico

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionar el estado de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado.



### 3.30 ABSORCIÓN Y HUMEDAD SUPERFICIAL

La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determina de acuerdo con las normas ASTM C 70, C 127, C128 y C 566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

#### 3.30.1 Proporcionamiento de Mezclas de Concreto Normal

El objetivo al diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de su uso, menciona Cemex México (2009).

Para lograr tal objetivo, una mezcla de concreto Ben proporcionada deberá poseer las propiedades siguientes:

- 1): En el concreto fresco, trabajabilidad aceptable.
- 2): En el concreto endurecido, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.
- 3): Economía.

#### 3.30.2 Elección de las Características de la Mezcla

En base al uso que se propone dar al concreto, a las condiciones de exposición, al tamaño y forma de lo miembros, y a las propiedades físicas del concreto (tales como la resistencia), que se requieren para la estructura. A pesar



de ser una característica importante, otras propiedades tales como la durabilidad, la permeabilidad, y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia.

El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable. Por tanto, la resistencia a cualquier edad particular no es tanto función de la relación agua - cemento como lo es del grado de hidratación que alcance el cemento.

### 3.31 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONCRETO

- Ventajas

- Se tiene una mejoría del comportamiento bajo la carga de servicio por el control del agrietamiento y la deflexión
  - Permite la utilización de materiales de alta resistencia
  - Elementos más eficientes y esbeltos, menos material
  - Mayor control de calidad en elementos pretensados (producción en serie). Siempre se tendrá un control de calidad mayor en una planta ya que se trabaja con más orden y los trabajadores están más controlados
  - Mayor rapidez en elementos pretensados. El fabricar muchos elementos con las mismas dimensiones permite tener mayor rapidez

- Desventajas

- Se requiere transporte y montaje para elementos pretensados. Esto puede ser desfavorable según la distancia a la que se encuentre la obra de la planta

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

- Mayor inversión inicial
- Diseño más complejo y especializado (juntas, conexiones, etc.)
- Planeación cuidadosa del proceso constructivo, sobre todo en etapas de montaje.



# CAPÍTULO 4

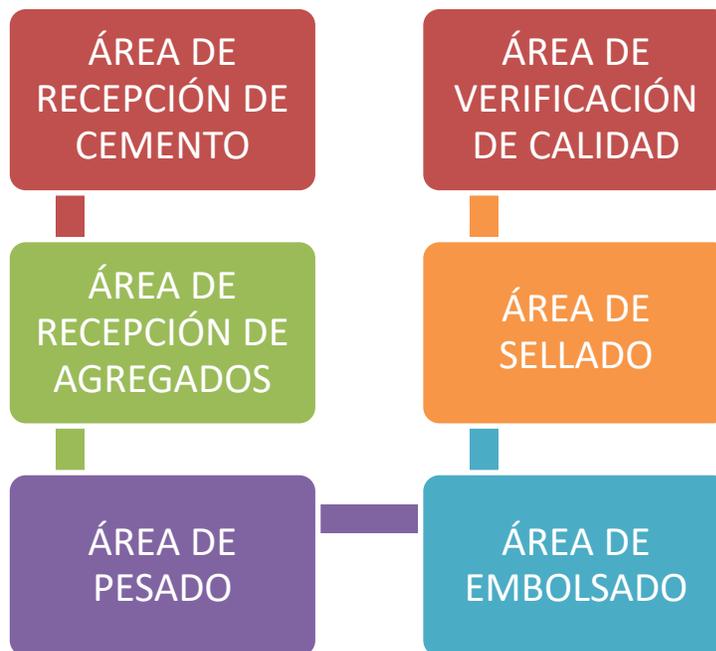
## METODOLOGÍA

### 4. METODOLOGÍA

#### 4.1 DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

#### 4.1.1 Análisis de Proceso Actual

El proceso consta de cinco etapas; recepción, pesado, empaquetado, sellado y verificación de calidad como se ve en la **figura 4.1**.



**Figura 4.1.** Secuencia de Proceso de Concreto Seco (Fuente: Concretos Miceli)

Las actividades que se realizan en cada área de trabajo se pueden describir a continuación:



- 1. Área de recepción de cemento:** en esta área se llevan a cabo tareas de recepción de cemento por parte de los proveedores, donde se almacena en un silo, así como la administración del mismo, donde se analiza, planea y controla su uso.
- 2. Área de recepción de agregados:** en esta área se lleva a cabo la recepción y almacenamiento de agregados (arena y grava) así como la administración y la planeación de su empleo.
- 3. Área de pesado:** es el lugar donde los componentes del concreto seco se pesan adecuadamente de acuerdo a las dosificaciones establecidas, esto se hace por medio de una báscula.
- 4. Área de embolsado:** en esta área los materiales pesados se depositan en las bolsas especiales, en el siguiente orden: arena, grava. El cemento se empaca en una bolsa distinta que posteriormente se deposita en la bolsa con los demás materiales.
- 5. Área de sellado:** mediante el uso de una selladora de bolsas, en esta área se empaquetan herméticamente las bolsas de modo que los materiales queden aislados de la humedad del ambiente.
- 6. Área de verificación de calidad:** esta área tiene como función revisar todas las bolsas para verificar que cumplan con los requisitos de calidad establecidos. El objetivo del departamento de calidad es comprobar que las resistencias mínimas que debe alcanzar el concreto seas correctas, esto se



logra realizando cilindros de concreto que posteriormente se ensayan en una prensa hidráulica.

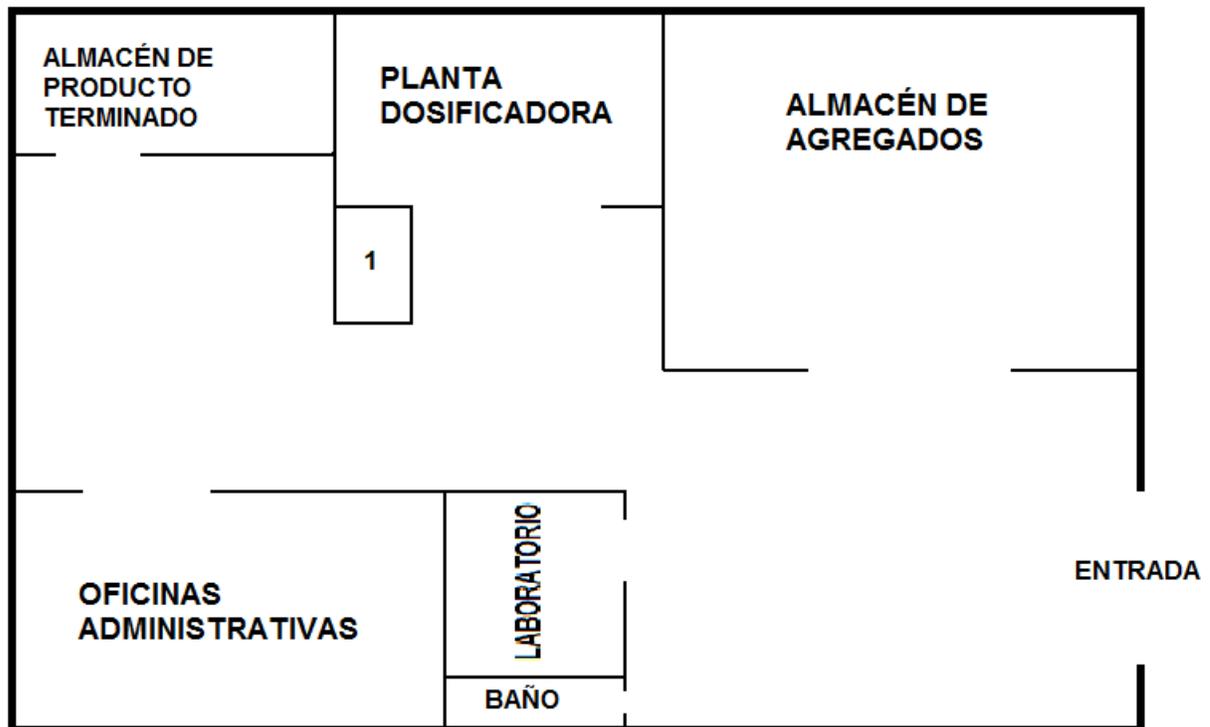
#### 4.1.1.1 Descripción de Proceso de Fabricación

El proceso de fabricación del concreto seco consta de los siguientes pasos:

1. Transporte de materiales del área de recepción al área de pesado. El cemento, grava y arena son recolectados por separado en carretillas que son desplazadas al área de pesado, donde sitúan todo el contenido.
2. Pesado de materiales. Los tres materiales son pesados individualmente en la báscula hasta lograr los pesos correctos dependiendo de la resistencia deseada.
3. Embolsado de materiales. Después de ser pesados la grava, arena y cemento son depositados dentro de las bolsas especiales, siendo primero la arena, siguiendo con la grava y por último el cemento.
4. Sellado de bolsas. Las bolsas son selladas por la parte superior, de manera que se aislen los materiales de manera total, evitando así la humedad.
5. Verificación de calidad. Las bolsas una vez terminadas se revisan para determinar que se realizaron con la calidad correspondiente y establecer su aceptación o rechazo.

#### 4.1.2 Diagrama de distribución de la empresa

La empresa Concretos Miceli, como se muestra en la **figura 4.2**, está formada por tres áreas: administrativa, producción y almacenamiento.

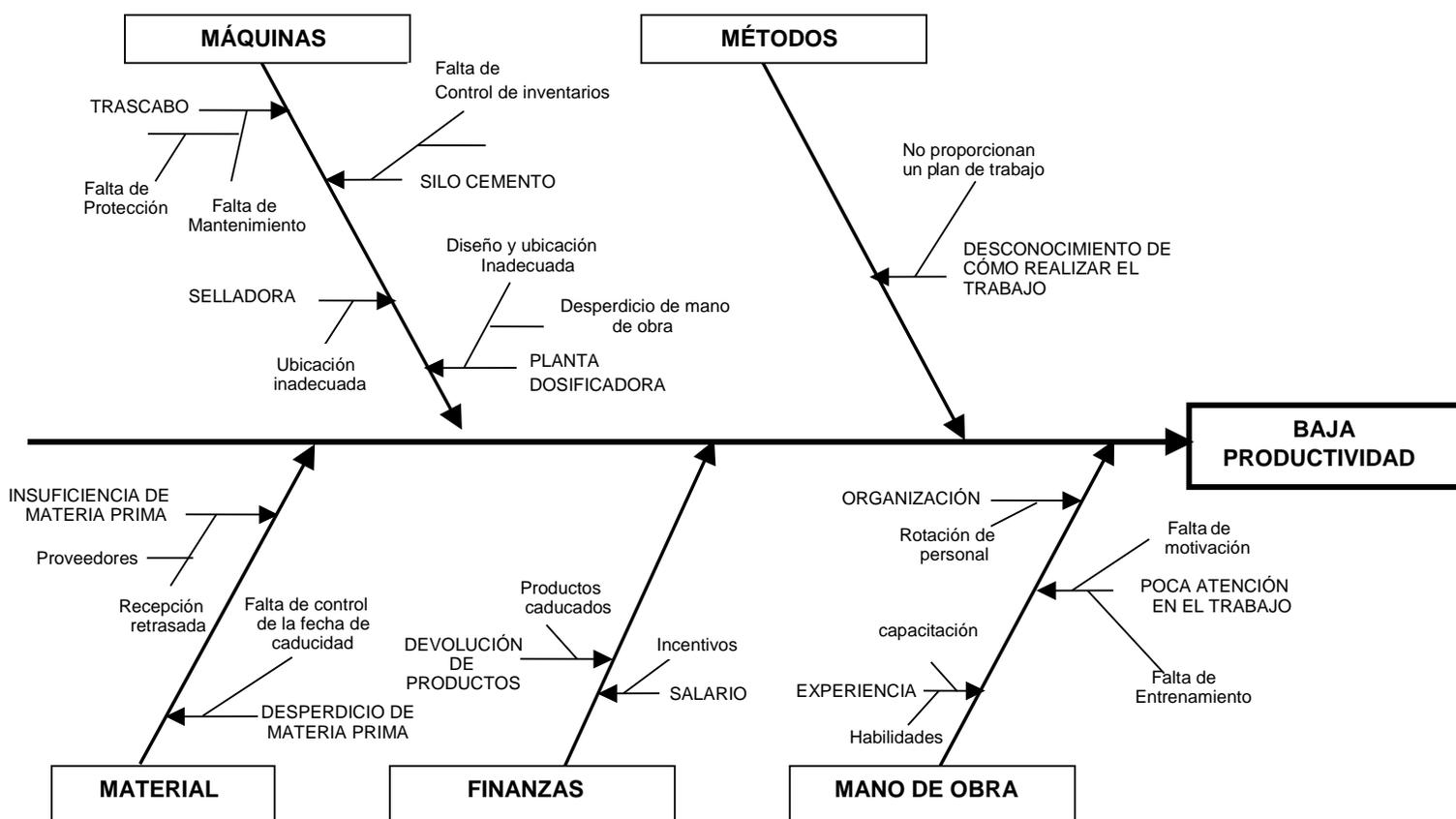


1. SILO DE CEMENTO

**Figura 4.2.** Distribución de Planta Concretos Miceli (Fuente: Concretos Miceli)

### 4.1.3 Diagrama de Ishikawa del proceso de producción.

Con la finalidad de encontrar las causas a los problemas que se presentan y que ocasionan una baja productividad se elabora el diagrama de Ishikawa para la empresa. Ver **figura 4.3**.



**Figura 4.3.** Diagrama de Ishikawa (Fuente: Elaboración Propia)

#### 4.1.4 Dosificación Inicial del Concreto

La dosificación del Concreto varía dependiendo de la resistencia, sin embargo, esta dosificación se ve limitada a solo 50 kg.

**Tabla 4.1.** Dosificación de Concreto Seco (Fuente: Concretos Miceli)

| <b>Resistencia</b> | <b>150 Kg./cm<sup>2</sup></b> | <b>200 Kg./cm<sup>2</sup></b> | <b>250 Kg./cm<sup>2</sup></b> |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Cemento</b>     | 5.0 Kg.                       | 5.5 Kg.                       | 6.0 Kg.                       |
| <b>Grava</b>       | 21                            | 20.5                          | 20                            |
| <b>Arena</b>       | 24                            | 24                            | 24                            |

#### 4.1.5 Características del Concreto Seco

##### 4.1.5.1 Resistencia 150 kg/cm<sup>2</sup>

- Resistencia a la compresión a los 28 días de 150 kg/cm<sup>2</sup> en grado de calidad B, cumpliendo como concreto estructural.
- Tamaño máximo de agregado grueso 20 mm (3/4”).
- Concreto Clase 1 conforme la NTC - RCDF
- Revenimiento de 14 cm para la consistencia normal.
- Peso volumétrico del concreto fresco mayor a 2200 kg/m<sup>3</sup>.
- EL cemento utilizado cumple con la Norma NMX C-414-ONNCCE.



- Los agregados pétreos utilizados cumplen con la Norma NMX C-111- ONNCCE.
- Los Aditivos utilizados cumplen con las Normas NMX C-313, NMX C-200 y ASTM 494-A y F.

#### 4.1.5.2 Resistencia 200 kg/cm<sup>2</sup>

- Resistencia a la compresión a los 28 días de 200 kg/cm<sup>2</sup> en grado de calidad B, cumpliendo como concreto estructural.
- Tamaño máximo de agregado grueso 20 mm (3/4”).
- Concreto Clase 1 conforme la NTC - RCDF
- Revenimiento de 14 cm para la consistencia normal.
- Peso volumétrico del concreto fresco mayor a 2200 kg/m<sup>3</sup>.
- Fraguado en condiciones ambientales normales
- EL cemento utilizado cumple con la Norma NMX C-414-ONNCCE.
- Los agregados pétreos utilizados cumplen con la Norma NMX C-111- ONNCCE.
- Los Aditivos utilizados cumplen con las Normas NMX C-313, NMX C-200 y ASTM 494-A y F.

#### 4.1.5.3 Resistencia 250 kg/cm<sup>2</sup>

- Resistencia a la compresión a los 28 días de 250 kg/cm<sup>2</sup> en grado de calidad B, cumpliendo como concreto estructural.
- Tamaño máximo de agregado grueso 20 mm (3/4”).
- Concreto Clase 1 conforme la NTC - RCDF
- Revenimiento de 14 cm para la consistencia normal.



- Peso volumétrico del concreto fresco mayor a 2200 kg/m<sup>3</sup>.
- Fraguado en condiciones ambientales normales
- EL cemento utilizado cumple con la Norma NMX C-414-ONNCCE.
- Los agregados pétreos utilizados cumplen con la Norma NMX C-111- ONNCCE.
- Los Aditivos utilizados cumplen con las Normas NMX C-313, NMX C-200 y ASTM 494-A y F.

#### 4.1.6 ANÁLISIS FODA

Para identificar los puntos fuertes y débiles del proceso se presenta un análisis FODA, ver tabla 4.2

**Tabla 4.2.** Análisis FODA (Fuente: Elaboración Propia)

| FORTALEZAS  | OPORTUNIDADES   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producto económico</li> <li>• Producción rápida</li> <li>• Proceso práctico y simple</li> <li>• Maquinaria para la capacidad requerida</li> <li>• Buenas relaciones con la fuerza laboral</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejoramiento del proceso</li> <li>• Reducción de tiempo</li> <li>• Disminución de desperdicios</li> <li>• Automatización futura</li> </ul> |
| DEBILIDADES   | AMENAZAS  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inexperiencia en el proceso</li> <li>• Falta de conocimiento del producto</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento de la competencia</li> <li>• Incremento o descenso excesivo de la demanda</li> </ul>   |



|  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran cantidad de productos defectuosos</li> <li>• Utilización de herramientas manuales</li> <li>• No hay planeación colaborativa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Competencia de productos sustitutos</li> <li>• Incremento de precios en materias primas</li> </ul> |
|--|---|

En general la empresa, en cuanto al proceso de producción, se encuentra con diferentes fortalezas que deberían ser mejor explotadas, claro está que se resalta en la organización el espíritu de mejoramiento continuo mostrado por los planes que se llevan a cabo dentro de la organización. Concretos Miceli además de contar con los recursos necesarios para su producción cuenta con un excelente ambiente laboral, representado por el compromiso de sus trabajadores.

En cuanto a las debilidades que se encontraron, en su mayoría están relacionadas respecto a la integración de todos los eslabones de la cadena de abastecimiento en cuanto a la información que deben compartir. Adicionalmente, se encontró que la utilización del módulo básico de producción, es manejada por medios manuales no sistematizados.

En las amenazas que puede tener el proceso se encuentran variables macro económicas tales como incrementos o descensos excesivos en el precio de los componentes del concreto a nivel nacional, al igual que en la demanda del producto. También se encuentra el incremento del mercado por parte de la competencia lo que traería como consecuencia un descenso en la producción de las referencias de la empresa. También los productos sustitutos son una amenaza para la producción de concreto seco.

Las oportunidades que se encuentran son afectadas por variables a nivel microeconómico tales como los planes de construcción en el estado. De esta forma la capacidad productiva sería mayor y traería como consecuencias beneficios para la empresa.

## 4.2 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MEJORA

### 4.2.1 Etapa de Recepción

En esta área se encontraron los siguientes puntos de mejora:

- Tiempos de Pedido de Agregados (Arena y Grava): los agregados son pedidos a los proveedores, pero estos son hechos sin un control, es decir, cada vez que la arena y la grava están en un nivel bajo de inventario, se hace un nuevo pedido, retrasando y programando una producción de acuerdo al inventario existente.
- Tiempos de Recepción de Agregados: Al no existir un control real sobre los pedidos y los insumos, estos son entregados en horas muy dispersas del día, lo que provoca interrupción y paros en la producción.
- Inventario de Cemento: El silo no cuenta con una balanza para conocer el contenido real del producto, por lo que se manejan solo supuestos.

### 4.2.2 Etapa de Pesado

En el área de pesado los puntos de mejora son:



- Equipo obsoleto: Las tareas de pesado se realizan con un equipo obsoleto y que no cubre las necesidades de la actividad a realizar, además de ser equipo poco confiable al momento de las mediciones y pesajes.

#### 4.2.3 Etapa de Sellado

El área de sellado muestra el siguiente punto de mejora:

- Falta de automatización: El equipo de sellado utilizado en Concretos Miceli para realizar esta tarea se encuentra falto de actualización y automatización, lo que provoca que se vuelva una etapa del proceso lenta y con muchos puntos de fallos cuando no se realiza correctamente

#### 4.2.4 Etapa de Verificación de Calidad

El área de verificación de la calidad presenta los siguientes puntos de mejora:

- Evaluación pronta y oportuna de los cilindros de concreto a ensayarse, ya que las resistencias mínimas establecidas en las normas están por encima de las resistencias reales obtenidas con el actual proceso de fabricación de concreto seco.

### 4.3 SECUENCIA DE LAS MEJORAS



El punto más importante a mejorarse dentro del proceso es el control estadístico de la calidad, puesto que el fallo de calidad representa errores en el proceso.

Esto se realizará por medio de un análisis de Cp y Cpk, para establecer los límites de aceptación dentro de la dosificación de los tres elementos que participan en el concreto (Cemento, Grava y Arena). Las actividades para mejorar el proceso de calidad se realizarán como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla 4.3.** Diagrama de Actividades (Fuente: Elaboración Propia)

| Actividad   | Semana |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
|   | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Determinación de estándares de dosificación de concreto | X      | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Elaboración de Pruebas de Calidad                       |        |   | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| Pruebas de Calidad                                      |        |   |   | X | X | X | X | X | X | X  | X  |    |    |    |    |    |
| Recolección de Resultados                               |        |   |   |   |   |   |   |   |   | X  | X  |    |    |    |    |    |
| Elaboración de Estadísticos de Calidad                  |        |   |   |   |   |   |   |   |   | X  | X  |    |    |    |    |    |
| Medición de Datos de                                    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | X  | X  |    |    |    |



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

# CAPÍTULO 5

## PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

### 5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

## 5.1 DETERMINACIÓN DE ESTÁNDARES DE DOSIFICACIÓN DE CONCRETO SECO

El establecimiento de las dosificaciones para el cemento, la grava y arena se realizó de acuerdo a los requerimientos de la empresa, que en este caso fueron de resistencias bajas. La primera medida a considerar es que el cemento es el elemento encargado en gran medida de aumentar la resistencia y dureza del concreto.

Sin embargo, al ser bolsas de 50 kg., cuando se aumenta el peso de un elemento es necesario quitar peso de otro, por lo que se decidió disminuir el peso de la arena en la misma cantidad del incremento de cemento. Además de este cambio, en la anterior dosificación el peso de la grava disminuía con mayor resistencia de concreto, pero para la propuesta la grava se mantiene constante con un peso de 20.5 kg.

La decisión de reducir el peso de la arena y no de la grava, se determinó en base a un análisis granulométrico que permite conocer la distribución por tamaño de las partículas presentes.

**Tabla 5.1.** Análisis Granulométrico de Grava (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

|                        |                  |                         |                            |
|------------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|
| Fecha de Realización:  | 04/Septiembre/12 | Planta :                | Concretos<br>Miceli        |
| Tipo de material :     | GR, GRAVA        | Tamaño máximo nominal : | 3/4 Pulg.                  |
| Banco de procedencia : | ALTAMIRA         | Muestra obtenida por :  | HARVEY VAZQUEZ<br>TOVILLLA |

| No.<br>Malla        | Retenido<br>(Gramos) | % Retenido<br>Parcial | % Retenido<br>Acumulado | % Que<br>Pasa | % Especificado |          |
|---------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|----------------|----------|
|                     |                      |                       |                         |               | Inferior       | Superior |
| 1"<br>(25.00<br>mm) | 489.7                | 6.5                   | 6.5                     | 93.5          | 100            | 100      |
| 3/4"<br>(19.00)     | 1510.9               | 19.9                  | 26.4                    | 73.6          | 90             | 100      |



| mm)  |           |        |       |      |      | SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA | SEP |
|------|-----------|--------|-------|------|------|---------------------------------|-----|
| 3/8" | (9.52 mm) | 3795.1 | 50.0  | 76.4 | 23.6 | 20                              | 55  |
| No.4 | (4.75 mm) | 1541.5 | 20.3  | 96.7 | 3.3  | 0                               | 10  |
| No.8 | (2.36 mm) | 142.3  | 1.9   | 98.6 | 1.4  | 0                               | 5   |
| Pasa | No.8      | 106.3  | 1.4   |      |      |                                 |     |
| Suma |           | 7585.8 | 100.0 |      |      |                                 |     |

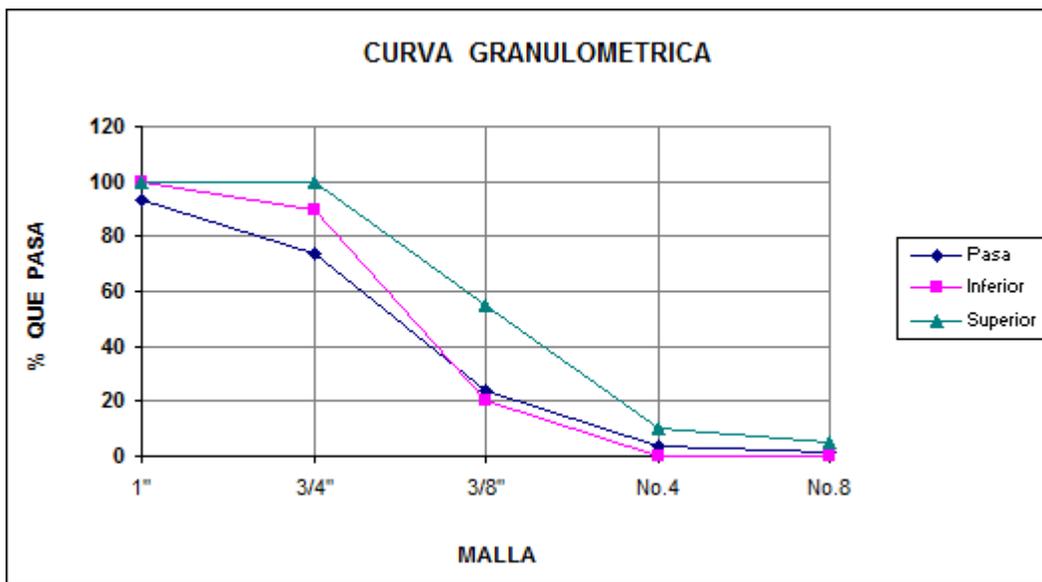


Figura 5.1. Curva Granulométrica Grava (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

En el análisis se aprecia el porcentaje de grava que pasa la malla de seguridad de acuerdo al tamaño de agregado. El proceso de concreto seco requiere de grava de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, así que de acuerdo al estudio el porcentaje retenido es de 26.4

Por su parte el estudio se realizó también para la arena.



SEP

**Tabla 5.2.** Análisis Granulométrico Arena (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

|                       |                        |                   |                         |                            |        |
|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|--------|
| Fecha de Muestreo:    | 28-12                  | Fecha de Estudio: | 28-Agosto-12            | No. de Folio:              | 01     |
| Mina de Procedencia:  | SANTO DOMINGO          | Ubicación:        | TUXTLA GUTIERREZ, CHIS. | Planta de Procedencia:     | MICELI |
| Muestra Obtenida por: | HARVEY VAZQUEZ TOVILLA |                   |                         | Clasificación de la Arena: | Rio    |
|                       |                        |                   |                         | T. Máximo Nominal:         | 5mm    |

| No Malla                               | Retenido gr | % Ret. Parcial | % Ret. Acum. | % Que Pasa |
|--|-------------|----------------|--------------|------------|
| 3/8                                    | 0.000       | 0.000          | 0.000        | 100.000    |
| 4                                      | 34.000      | 3.231          | 3.231        | 96.769     |
| 8                                      | 199.100     | 18.920         | 22.151       | 77.849     |
| 16                                     | 194.100     | 18.445         | 40.597       | 59.403     |
| 30                                     | 259.800     | 24.689         | 65.286       | 34.714     |
| 50                                     | 244.400     | 23.225         | 88.511       | 11.489     |
| 100                                    | 117.300     | 11.147         | 99.658       | 0.342      |
| Charola                                | 3.600       | 0.342          |              |            |
| Total                                  | 1,052.3     | 100            |              |            |
| Módulo de Finura ( Esp. de 2.3 a 3.1 ) |             |                | 3.19         |            |

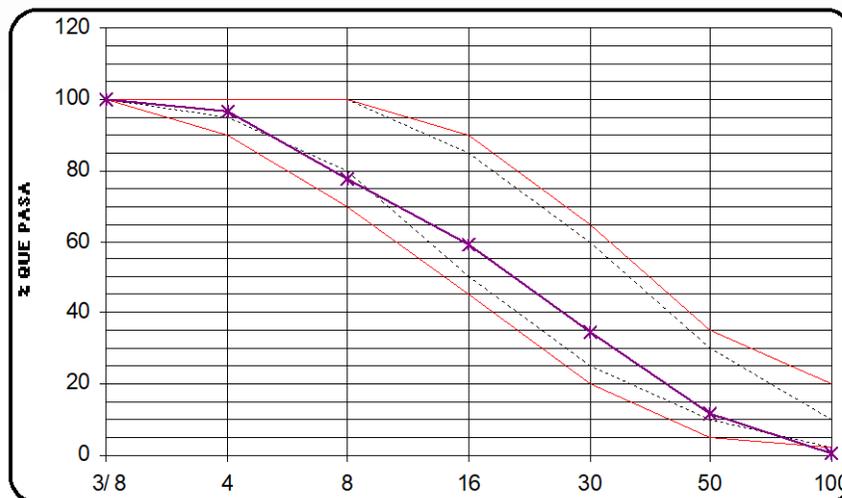


Figura 5.2. Curva Granulométrica Arena (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

| Masa Volumétrica ( Ref. NMX - C - 73 EN VIGOR ) |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
| PV Suelto:                                      | $\frac{11.7 - 3.4}{100} \times 189.89$ | = | 1,576 kg/m <sup>3</sup> |
| PV Compacto:                                    | $\frac{12.5 - 3.4}{100} \times 189.89$ | = | 1,728 kg/m <sup>3</sup> |
|   | Factor                                 | = | 189.89                  |

| Masa Específica ( S.S.S. ) ( Ref. NMX - C - 165 - EN VIGOR )                         |   |  |                    |
|--|---|--|--------------------|
|  | $\frac{0.00}{0.00 + 0.00 - 0.00} = \frac{M_{sss}}{M_{pa} + M_{sss} - M_{pm}}$ |  | gr/cm <sup>3</sup> |
|  | Messs =   |  |                    |
| Msss = La masa de la muestra sss en kg.  |   |  |                    |
| Mpm = La masa del picnómetro que incluya la muestra sumergida y lleno de agua en kg. |   |  |                    |
| Mpa = La masa del picnómetro lleno de agua hasta el aforo en kg.                     |   |  |                    |

| Absorción ( Ref. NMX - C - 165 - EN VIGOR ) |  |   |  |
|---|--|---|--|
| % Absorción =                               | $\frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100$ | = | $\frac{599.80 - 596.70}{596.70} \times 100 = 0.01$ |



Ms = La masa seca en kg. 596.70  
Msss = La masa saturada y superficialmente seca que se obtuvo al determinar la Messs en kg. SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

| Pérdida por Lavado ( Ref. NMX - C - 84 - EN VIGOR )                |  |
|--|--|
| Peso Muestra Seca "Ms" ( gr ) =                                    | 1,210.50 gr  |
| Peso Muestra Seca Lavada "Msl" (gr) =                              | 1,198.60 gr  |
|  | $\frac{1,210.50 - 1,198.60}{1,210.50} \times 100 = 1.0 \%$ |
| Ms = Masa original de la muestra, en gramos.                       |  |
| Msl = Masa de la muestra seca después de lavada, en gramos.        |  |
| % PxL = Porcentaje del material que pasa la criba 0.075 (No. 200). | $\%PxL = \frac{Ms - Msl}{Ms} \times 100$                   |

Después de analizar los estudios y tomar en cuenta los resultados se propuso la siguiente dosificación para el proceso de realización de concreto seco.

**Tabla 5.3.** Dosificación de Concreto Seco Propuesta (Fuente: Elaboración Propia)

| Resistencia    | 150 Kg./cm <sup>2</sup> | 200 Kg./cm <sup>2</sup> | 250 Kg./cm <sup>2</sup> |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Cemento</b> | 5.5 Kg.                 | 6.0 Kg.                 | 6.5 Kg.                 |
| <b>Grava</b>   | 20.5                    | 20.5                    | 20.5                    |
| <b>Arena</b>   | 24.0                    | 23.5                    | 23.0                    |

La dosificación propuesta no difiere mucho de la dosificación anterior sin embargo, al ser proporciones no muy grandes, al realizar pequeños cambios, los resultados pueden ser significativos.

## 5.2 ELABORACIÓN DE PRUEBAS DE CALIDAD

Las pruebas de calidad que se realizaron fueron:



- Revenimiento
- Compresión

### 5.2.1 Pruebas de Revenimiento

Las pruebas de revenimiento se realizan para conocer la consistencia del concreto, dichas pruebas se elaboraron en el periodo del 6 de Septiembre al 25 de Octubre de 2012, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla. 5.4.** Resultado de Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

| Espécimen | Fecha              | Revenimiento | Consistencia |
|-----------|--------------------|--------------|--------------|
| 1         | 6-Septiembre-2012  | 14           | Fluida       |
| 2         | 8-Septiembre-2012  | 13.5         | Fluida       |
| 3         | 11-Septiembre-2012 | 14           | Fluida       |
| 4         | 12-Septiembre-2012 | 12           | Fluida       |
| 5         | 18-Septiembre-2012 | 9.5          | Blanda       |
| 6         | 19-Septiembre-2012 | 9            | Blanda       |
| 7         | 21-Septiembre-2012 | 10.5         | Fluida       |
| 8         | 22-Septiembre-2012 | 9.5          | Blanda       |
| 9         | 24-Septiembre-2012 | 11           | Fluida       |

**Tabla. 5.5.** Resultado de Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

| Espécimen | Fecha              | Revenimiento | Consistencia |
|-----------|--------------------|--------------|--------------|
| 1         | 26-Septiembre-2012 | 11           | Fluida       |



|   |                    |      |        |
|---|--------------------|------|--------|
| 2 | 27-Septiembre-2012 | 10.5 | Fluida |
| 3 | 28-Septiembre-2012 | 9    | Blanda |
| 4 | 1-October-2012     | 9.5  | Blanda |
| 5 | 3-October-2012     | 9    | Blanda |
| 6 | 4-October-2012     | 10   | Fluida |
| 7 | 6-October-2012     | 11   | Fluida |
| 8 | 8-October-2012     | 10.5 | Fluida |
| 9 | 9-October-2012     | 9    | Blanda |

**Tabla. 5.6.** Resultado de Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

| Espécimen | Fecha           | Revenimiento | Consistencia |
|-----------|-----------------|--------------|--------------|
| 1         | 15-October-2012 | 12           | Fluida       |
| 2         | 16-October-2012 | 13           | Fluida       |
| 3         | 17-October-2012 | 12.5         | Fluida       |
| 4         | 18-October-2012 | 14           | Fluida       |
| 5         | 19-October-2012 | 10           | Fluida       |
| 6         | 22-October-2012 | 9.5          | Blanda       |
| 7         | 23-October-2012 | 9            | Blanda       |
| 8         | 24-October-2012 | 11           | Fluida       |
| 9         | 25-October-2012 | 11           | Fluida       |

Las pruebas de revenimiento reflejaron una tendencia a presentar una consistencia fluida la cual se presenta de 10 a 15 cm, sin embargo, el revenimiento ideal para un concreto seco se presenta a los 10 cm con un +/- 2.5.

### 5.2.2 Pruebas de Compresión de Especímenes de Concreto

Las pruebas de compresión se realizan para conocer la resistencia del concreto, dichas pruebas se elaboraron en el periodo del 4 de Octubre al 23 de Noviembre de 2012, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla. 5.7.** Resultado de Pruebas de Compresión Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

| No. $\mu$ | FECHA DE COLADO | FECHA DE ENSAYE | EDAD (DÍAS) | REV. (cm) | AREA (cm <sup>2</sup> ) | CARGA |      | ESFUERZO               |       | TIPO DE FALLA | RESISTENCIA OBTENIDA | OBSERVACIONES       |
|-----------|-----------------|-----------------|-------------|-----------|-------------------------|-------|------|------------------------|-------|---------------|----------------------|---------------------|
|           |                 |                 |             |           |                         | (kgf) | (kN) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (MPa) |               |                      |                     |
| 1         | 06-sep-12       | 04-oct-12       | 28          | 14        | 176.7                   | 37729 | 370  | 214                    | 21    | 1             | 142                  | Cumple con la Norma |
| 2         | 08-sep-12       | 06-oct-12       | 28          | 13.5      | 176.7                   | 40584 | 398  | 230                    | 23    | 1             | 153                  | Cumple con la Norma |
| 3         | 11-sep-12       | 09-oct-12       | 28          | 14        | 176.7                   | 39769 | 390  | 225                    | 22    | 1             | 150                  | Cumple con la Norma |
| 4         | 12-sep-12       | 10-oct-12       | 28          | 12        | 176.7                   | 38545 | 378  | 218                    | 21    | 1             | 145                  | Cumple con la Norma |
| 5         | 18-sep-12       | 16-oct-12       | 28          | 9.5       | 176.7                   | 38545 | 378  | 218                    | 21    | 1             | 145                  | Cumple con la Norma |
| 6         | 19-sep-12       | 17-oct-12       | 28          | 9         | 176.7                   | 39973 | 392  | 226                    | 22    | 1             | 151                  | Cumple con la Norma |
| 7         | 21-sep-12       | 19-oct-12       | 28          | 11        | 176.7                   | 39361 | 386  | 223                    | 22    | 1             | 148                  | Cumple con la Norma |
| 8         | 22-sep-12       | 20-oct-12       | 28          | 9.5       | 176.7                   | 38749 | 380  | 219                    | 22    | 1             | 146                  | Cumple con la Norma |
| 9         | 24-sep-12       | 22-oct-12       | 28          | 11        | 176.7                   | 39157 | 384  | 222                    | 22    | 1             | 148                  | Cumple con la Norma |

**Tabla. 5.8.** Resultado de Pruebas de Compresión Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

| No. Muestra | FECHA DE COLADO | FECHA DE ENSAYE | EDAD (DÍAS) | REV. (cm) | AREA (cm <sup>2</sup> ) | CARGA (kgf) | CARGA (KN) | ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> ) | ESFUERZO (MPa) | TIPO DE FALLA | RESISTENCIA OBTENIDA | OBSERVACIONES       |
|-------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------|-------------------------|-------------|------------|---------------------------------|----------------|---------------|----------------------|---------------------|
| 1           | 15-oct-12       | 24-oct-12       | 28          | 12        | 176.7                   | 51087       | 501        | 289                             | 28             | 1             | 193                  | Cumple con la Norma |
| 2           | 16-oct-12       | 25-oct-12       | 28          | 13        | 176.7                   | 51801       | 508        | 293                             | 29             | 1             | 195                  | Cumple con la Norma |
| 3           | 17-oct-12       | 26-oct-12       | 28          | 12.5      | 176.7                   | 54249       | 532        | 307                             | 30             | 1             | 205                  | Cumple con la Norma |
| 4           | 18-oct-12       | 30-oct-12       | 28          | 14        | 176.7                   | 50884       | 499        | 288                             | 28             | 1             | 192                  | Cumple con la Norma |



|   |           |           |    |     |       |       |     |     |    |   |     |                     |
|---|-----------|-----------|----|-----|-------|-------|-----|-----|----|---|-----|---------------------|
| 5 | 19-oct-12 | 01-nov-12 | 28 | 10  | 176.7 | 53331 | 523 | 302 | 30 | 1 | 201 | Cumple con la Norma |
| 6 | 22-oct-12 | 02-nov-12 | 28 | 9.5 | 176.7 | 54045 | 530 | 306 | 30 | 1 | 204 | Cumple con la Norma |
| 7 | 23-oct-12 | 04-nov-12 | 28 | 9   | 176.7 | 53637 | 526 | 304 | 30 | 1 | 202 | Cumple con la Norma |
| 8 | 24-oct-12 | 06-nov-12 | 28 | 11  | 176.7 | 52209 | 512 | 295 | 29 | 1 | 197 | Cumple con la Norma |
| 9 | 25-oct-12 | 07-nov-12 | 28 | 11  | 176.7 | 52719 | 517 | 298 | 29 | 1 | 199 | Cumple con la Norma |

**Tabla. 5.9.** Resultado de Pruebas de Compresión Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: LAMA Laboratorio de Materiales)

| No. Muestra | FECHA DE COLADO | FECHA DE ENSAYE | EDAD (DÍAS) | REV. (cm) | AREA (cm <sup>2</sup> ) | CARGA (kgf) | CARGA (KN) | ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> ) | ESFUERZO (MPa) | TIPO DE FALLA | RESISTENCIA OBTENIDA | OBSERVACIONES       |
|-------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------|-------------------------|-------------|------------|---------------------------------|----------------|---------------|----------------------|---------------------|
| 1           | 26-sep-12       | 24-oct-12       | 28          | 11        | 176.7                   | 66485       | 652        | 376                             | 37             | 1             | 251                  | Cumple con la Norma |
| 2           | 27-sep-12       | 25-oct-12       | 28          | 10.5      | 176.7                   | 66077       | 648        | 374                             | 37             | 1             | 249                  | Cumple con la Norma |
| 3           | 28-sep-12       | 26-oct-12       | 28          | 9         | 176.7                   | 65771       | 645        | 372                             | 36             | 1             | 248                  | Cumple con la Norma |
| 4           | 01-oct-12       | 30-oct-12       | 28          | 9.5       | 176.7                   | 66689       | 654        | 377                             | 37             | 1             | 252                  | Cumple con la Norma |
| 5           | 03-oct-12       | 01-nov-12       | 28          | 9         | 176.7                   | 64446       | 632        | 365                             | 36             | 1             | 243                  | Cumple con la Norma |
| 6           | 04-oct-12       | 02-nov-12       | 28          | 10        | 176.7                   | 67403       | 661        | 381                             | 37             | 1             | 254                  | Cumple con la Norma |
| 7           | 06-oct-12       | 04-nov-12       | 28          | 11        | 176.7                   | 64140       | 629        | 363                             | 36             | 1             | 242                  | Cumple con la Norma |
| 8           | 08-oct-12       | 06-nov-12       | 28          | 10.5      | 176.7                   | 65057       | 638        | 368                             | 36             | 1             | 245                  | Cumple con la Norma |
| 9           | 09-oct-12       | 07-nov-12       | 28          | 9         | 176.7                   | 65465       | 642        | 370                             | 36             | 1             | 247                  | Cumple con la Norma |

De acuerdo a los datos obtenidos en el laboratorio, los especímenes presentaron un correcto cumplimiento de la norma, lo que no ocurría con la anterior dosificación.

### 5.3 ELABORACIÓN DE ESTADÍSTICOS DE CALIDAD



Para establecer los límites de aceptación del proceso, es necesario calcular los  $C_p$  y  $C_{pk}$  que relacionan la variabilidad propia del proceso con los límites de especificación establecidos para el producto.

Generalmente, se evalúa a partir de la medición de variable del producto resultado del proceso, la cual debe ser clara y específica. Para el estudio se determinó la resistencia como variable medida, puesto que es el elemento más representativo de la calidad del producto.

### 5.3.1 Gráficos de Control

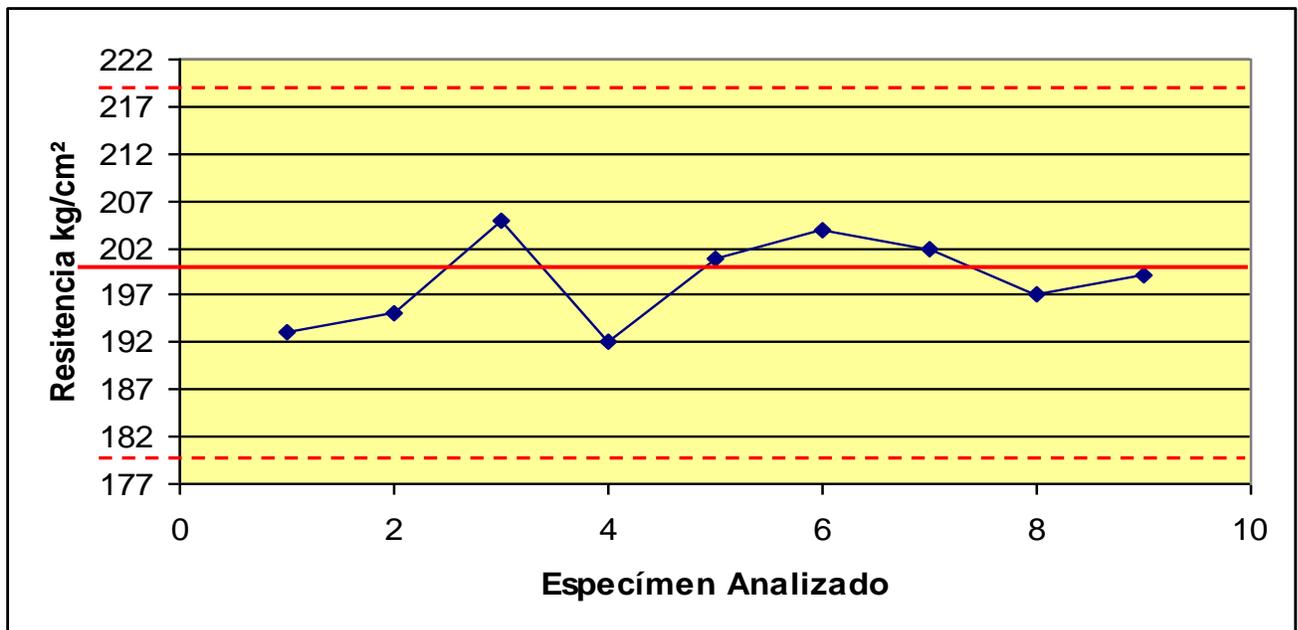
Los gráficos de control permiten que los productos lleguen al consumidor sin defectos, así las variaciones de calidad antes y después del proceso pueden ser detectadas y corregidas.

Los gráficos de control ayudan a la detección de modelos no naturales de variación en los datos que resultan de procesos repetitivos y dan criterios para detectar una falta de control estadístico. Un proceso se encuentra bajo control estadístico cuando la variabilidad se debe sólo a “causas comunes”.

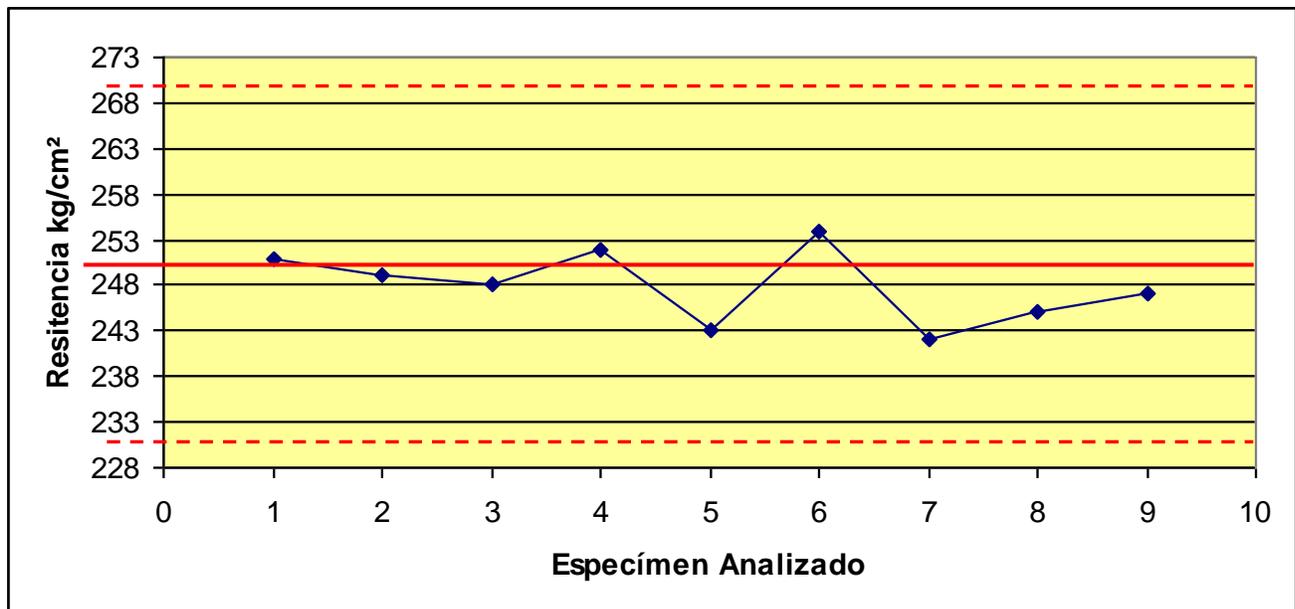
El análisis de los datos medidos permite obtener información sobre la calidad del producto, estudiar y corregir el funcionamiento del proceso y aceptar o rechazar lotes de producto. En todos estos casos es necesario tomar decisiones y estas decisiones dependen del análisis de los datos.



**Figura 5.3.** Gráfico de Pruebas de Compresión Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: Elaboración Propia)



**Figura 5.4.** Gráfico de Pruebas de Compresión Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: Elaboración Propia)



**Figura 5.5.** Gráfico de Pruebas de Compresión Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup> (Fuente: Elaboración Propia)

Los gráficos muestran que el proceso se encuentra bajo control estadístico, puesto que ninguno de los puntos sale de los límites de control, de esta manera se comprueba que la dosificación propuesta mejora notablemente el proceso aumentando la calidad y reduciendo los productos defectuosos.

### 5.3.2 Estimación de la Desviación Estándar “ $\sigma$ ”

Antes de realizar los gráficos y evaluar la capacidad del proceso “Cp” es necesario calcular la desviación estándar “ $\sigma$ ” que es necesaria para calcular los límites de control superior e inferior.

Puesto que la desviación estándar es una medida de la dispersión de una distribución de frecuencias correspondiente a la raíz cuadrada del cociente entre la suma de los cuadrados de la distancia de cada valor a la media aritmética y el número de valores. Donde la fórmula para calcularlo es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m)^2}{n-1}}$$

Aplicando la fórmula anterior para los tres tipos de resistencia:

$$150 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma = \sqrt{148/8} = \mathbf{4.3011}$$

$$200 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma = \sqrt{194/8} = \mathbf{4.9244}$$

$$250 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma = \sqrt{173/8} = \mathbf{4.6502}$$

Una vez calculada la desviación estándar, se realiza el cálculo de índice de capacidad del proceso.

### 5.3.3 Cálculo de Índices de Capacidad del Proceso “Cp”

Para calcular la capacidad del proceso “Cp” aplicar:

$$C_p = \frac{LCS - LCI}{\sigma}$$



6  $\sigma$

### 5.3.3.1 Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 150 kg/cm<sup>2</sup>

$$Cp = \frac{170-133}{6 (4.3011)}$$

$$Cp = \frac{37}{25.8066}$$

$$Cp = 1.4337$$

### 5.3.3.2 Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 200 kg/cm<sup>2</sup>

$$Cp = \frac{225-185}{6 (4.9244)}$$

$$Cp = \frac{40}{29.5464}$$

$$Cp = 1.3538$$

### 5.3.3.3 Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 250 kg/cm<sup>2</sup>

$$Cp = \frac{273-235}{6 (4.6502)}$$

$$Cp = \frac{38}{27.9012}$$

$$Cp = 1.3619$$

### 5.3.4 Cálculo de Índices de Capacidad del Proceso “Cpk”

Para calcular la capacidad del proceso “Cpk” aplicar:

$$Cpk = \frac{t \text{ min}}{3}$$

Donde se toma el mínimo de:

$$t_i = \frac{\bar{X} - LCI}{\sigma}$$

$$t_s = \frac{LCS - \bar{X}}{\sigma}$$

#### 5.3.4.1 Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 150 kg/cm<sup>2</sup>

$$t_i = \frac{150-133}{4.3011} = \mathbf{3.9524}$$

$$t_s = \frac{170-150}{4.3011} = 4.6499$$

$$Cpk = \frac{3.9524}{3}$$

$$\mathbf{Cpk = 1.3174}$$

#### 5.3.4.2 Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 200 kg/cm<sup>2</sup>



$$t_i = \frac{200-185}{4.9244} = \mathbf{3.046}$$

$$t_s = \frac{225-200}{4.9244} = 5.0767$$

$$C_{pk} = \frac{3.046}{3}$$

$$\mathbf{C_{pk} = 1.0153}$$

#### 5.3.4.3 Cálculo de índice de Capacidad del Proceso Concreto 250 kg/cm<sup>2</sup>

$$t_i = \frac{250-235}{4.9244} = \mathbf{3.2256}$$

$$t_s = \frac{273-250}{4.9244} = 4.9460$$

$$C_{pk} = \frac{3.2256}{3}$$

$$\mathbf{C_{pk} = 1.0752}$$

## 5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.4.1 Estimación de la Capacidad Potencial del Proceso

Es necesario comparar los índices de capacidad obtenidos con los valores límites establecidos anteriormente para concluir si el proceso es o no capaz, y si el



resultado del proceso estará dentro de especificación o no, ya que, aunque un proceso sea capaz de cumplir con unas especificaciones no implica, necesariamente, que el resultado de dicho proceso las cumpla.

Para que un proceso sea capaz y dentro de especificación, se da cuando las condiciones para Cp y Cpk se cumplen:

$$Cp \geq 1.33$$

$$Cpk \geq 1.33$$

El proceso es capaz de satisfacer la tolerancia especificada y además, el resultado del mismo, estará dentro de los límites de especificación.

Sin embargo, al analizar y comparar los resultados obtenidos para cada resistencia se tiene:

$$Cp \text{ 150 kg/cm}^2 = \mathbf{1.4337} > \mathbf{1.33}$$

$$Cpk \text{ 150 kg/cm}^2 = \mathbf{1.3174} < \mathbf{1.33}$$

$$Cp \text{ 200 kg/cm}^2 = \mathbf{1.3538} > \mathbf{1.33}$$

$$Cpk \text{ 200 kg/cm}^2 = \mathbf{1.0153} < \mathbf{1.33}$$

$$Cp \text{ 250 kg/cm}^2 = \mathbf{1.3619} > \mathbf{1.33}$$

$$Cpk \text{ 250 kg/cm}^2 = \mathbf{1.0752} < \mathbf{1.33}$$

Lo cual muestra que el proceso es capaz, pero no se encuentra centrado. Es decir, el es capaz de ajustarse a la tolerancia requerida pero su resultado arrojará un porcentaje fuera de especificación.



#### 5.4.2 Presentación de Dosificación Estándar

Los resultados obtenidos muestran que la dosificación requerida para permanecer dentro de los márgenes de las normas es el siguiente:

**Tabla 5.10.** Dosificación de Concreto Seco Establecida (Fuente: Elaboración Propia)

| <b>Resistencia</b> | <b>150 Kg./cm<sup>2</sup></b> | <b>200 Kg./cm<sup>2</sup></b> | <b>250 Kg./cm<sup>2</sup></b> |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Cemento</b>     | 5.5 Kg.                       | 6.0 Kg.                       | 6.5 Kg.                       |
| <b>Grava</b>       | 20.5                          | 20.5                          | 20.5                          |
| <b>Arena</b>       | 24.0                          | 23.5                          | 23.0                          |

## CAPÍTULO 6

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### 6.1 CONCLUSIONES

El control de la producción y de los elementos que rodean a esto es vital dentro de una organización como lo es Concretos Miceli ya que sin el conocimiento de todas las actividades llevadas a cabo dentro del organismo abundaría el temor de cometer errores en la planta que serían en un determinado momento un costo superior a lo que se tiene estimado llevando a cabo los despidos y bajas de salario que ningún trabajador en esta época quiere tener.



Las medidas tomadas en cualquier índole son de gran utilidad, como se presenta en el proyecto algunas herramientas de la ingeniería industrial como son los gráficos de control, capacidad de procesos, logística operativa, mantenimiento productivo y preventivo cualquiera de estas opciones presentan una mejora de tiempo, costo y productividad significativo para ser tomado en consideración por los diferentes coordinadores de producción que se mantienen en diferentes áreas como son calidad.

Los diferentes tipos de resistencia y dosificaciones que se manejan hacen de este proceso una complejidad grande con el que habrá que lidiar en cada momento, para esto las ayudas de Excel o de otros programas electrónicos son importantes en el control de los datos o de la información que se pueda almacenar y manejar de manera adecuada dentro de los problemas generados deber de ser resuelta en momentos activos ya que si no se hacen en ese momento generara paros de línea que incurren directamente en los costos de producción y que ningún área quiere aceptar.

Las ganancias ven un incremento en el salario de los asociados al área que repercute con estos beneficios, como cualquier trabajador desea percibir este nuevo ingreso el trabajo, las condiciones con las que se labora necesitan ser las óptimas en todo sentido desde el momento que la ingeniería toma en cuenta cualquiera de sus mediciones y acciones tomadas.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Considerar cualquier detalle establecido por el área a fin de conservar la continuidad del proceso óptimo y que la línea de operación sea un elemento sin ningún cuestionamiento de formación, operación e incorporación de componentes



que permitan una mayor capacidad en el proceso, las características de dosificación y establecimiento de límites de aceptación han sido llevadas a cabo para que toda la planta considere y tome muy en cuenta que los eventos realizados antes de un arranque de producción en serie son de vital importancia para ahorrar y detallar costos que se generarían en el futuro si existiese un mal empleo de los materiales.

La alta gerencia de planta debe considerar optimizar en cualquier manera sea posible las características de su procedimiento, conformado ahora por tolvas, basculas y selladoras que primordialmente y añadiendo la revolvedora generan la mayor concentración de componentes dentro del saco. Los componentes y agregados que son secuenciados por parte de proveedor hacen que la mayoría de los resultados tengan un riesgo que se debe tomar a consideración para enviar al cliente una unidad que cumpla con todas sus necesidades ya sea de resistencia, rendimiento, tiempo y costo.

La empresa deberá tomar medidas de secuenciamiento para los materiales nuevos ya que pueden generar pérdidas muy importantes sino se almacenan y distribuyen como debería de ser hasta el momento; las ramas de ingeniería buscan eliminar todos estos problemas y mejorar a la organización.

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

# ANEXOS

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

## ANEXOS

### Anexo 1. Preparación de Mezcla Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup>



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

## **Anexo 2.** Preparación de Mezcla Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup>

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 3. Preparación de Mezcla Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup>



**Anexo 4. Prueba de Revenimiento Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup>**



**Anexo 5. Prueba de Revenimiento Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup>**



**Anexo 6. Prueba de Revenimiento Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup>**



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

**Anexo 7. Cilindro de Prueba Concreto Seco 150 kg/cm<sup>2</sup>**



**Anexo 8. Prensa Hidráulica**



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



**SEP**

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

### Anexo 9. Resultado Prensa Hidráulica



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 10. Preparación de Mezcla Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup>



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 11. Preparación de Mezcla Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup>



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 12. Preparación de Mezcla Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup>



**Anexo 13. Preparación de Mezcla Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup>**



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

#### Anexo 14. Preparación de Mezcla Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup>



**Anexo 15. Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup>**



**Anexo 16. Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 200 kg/cm<sup>2</sup>**



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

### Anexo 17. Resultado Prensa Hidráulica



**Anexo 18. Preparación de Mezcla Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup>**



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

### Anexo 19. Empaquetado



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



**SEP**

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

### Anexo 20. Sellado



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 21. Preparación de Mezcla Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup>



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 22. Preparación de Mezcla Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup>



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 23. Preparación de Mezcla Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup>



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

#### Anexo 24. Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup>



**Anexo 25. Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup>**



**Anexo 26. Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup>**



**Anexo 27. Pruebas de Revenimiento Concreto Seco 250 kg/cm<sup>2</sup>**



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 28. Chequeo de Agregados



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



**SEP**

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

### Anexo 29. Envolzado Interno



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 30. Mezcla de Materiales



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 31. Concreto Seco



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 32. Concreto Premezclado



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

### Anexo 33. Consistencia Concreto Premezclado



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

**Anexo 34. Grava de 3/8"**



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

**Anexo 35. Grava 3/4"**





## BIBLIOGRAFÍA

1. Adler, Martín. (2001) "Producción y Operaciones", Macchi Ediciones, Buenos Aires, 2004, P.p.789
2. Adam, E. & Ebert, R. (1991): Administración de la producción y de las operaciones, cuarta edición, Ed. Prentice Hall, México D.F.
3. L. Bertrand (1989); Control de Calidad: Teoría y Aplicaciones. Editorial Díaz de Santos
4. Cemex México (2009): Manual de Procedimientos, México D. F.
5. Concretos Miceli S.A. de C.V. (2011): Historia, Proceso y Secuencias.
6. Feld, William M. (1998), "Lean Manufacturing: tools, techniques and how to use them," Editorial Mc Graw Hill, México, D.F., Pag. (80-81, 87-88).
7. Hammer, Michael (2000) "Reingeniería "Ed. Norma. Colombia, 7° edición, P.p. 226.



8. Jr. Alatraste Sealteil (1998). Técnica de los Costos Trigésima primera Edición. Editorial Porrúa, S.A.
9. L. Tawfik, A. M. Chauvel (1997); Administración de la Producción; Editorial Mc Graw Hill.
10. D. Montgomery (1991); Control Estadístico de la Calidad; Editorial Limusa Wiley.
11. Niebel, B. (2001); Métodos, estándares y diseño del trabajo, décima edición; Editorial Alfaomega.
12. Sipper, Daniel; Bulfin Jr., Robert L.; (1998); "Planeación y control de la producción"; Ed. Mc Grawhill, México.
13. Velázquez Mastretta, Gustavo; (1989); "Administración de los sistemas de producción" Editorial Limusa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

 [http://webs.demasiado.com/ing\\_industrial/ingenieria/control/control estadistico de calidad.html](http://webs.demasiado.com/ing_industrial/ingenieria/control/control estadistico de calidad.html) (15/11/12).

 <http://mx.search.yahoo.com/search/mx?p=control+estadistico+de+calidad&meta> (15/11/12).

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



<http://www.her.itesm.mx/dge/calidad/topicos/toyota.htm> (7/11/12).

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**