

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

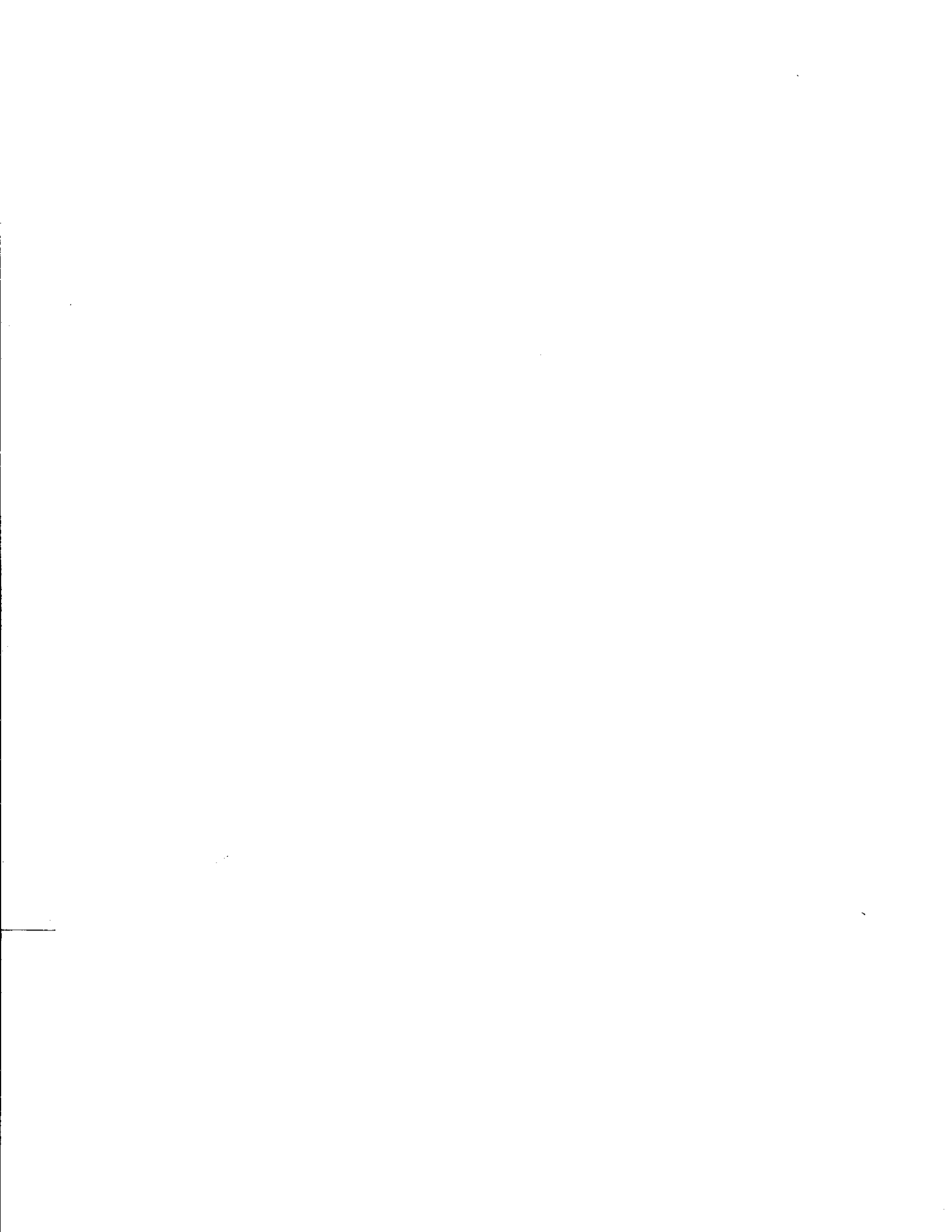
Departamento de Ingeniería Química

MANUAL DE AGUAS DE POZO PARA  
CONCRETO DE ALBAÑILERIA EN EL  
DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ

Christian Marysol Morán Tello

Guatemala

2002



**MANUAL DE AGUAS DE POZO PARA  
CONCRETO DE ALBAÑILERIA EN EL  
DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

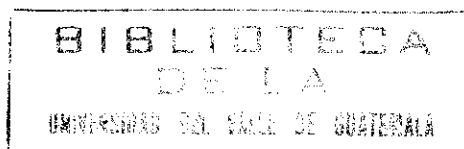
Departamento de Ingeniería Química

MANUAL DE AGUAS DE POZO PARA  
CONCRETO DE ALBAÑILERIA EN EL  
DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ

Trabajo de investigación presentado  
para optar al grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Química

Guatemala

2002



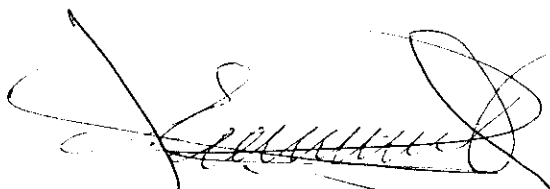
Vo.Bo.



---

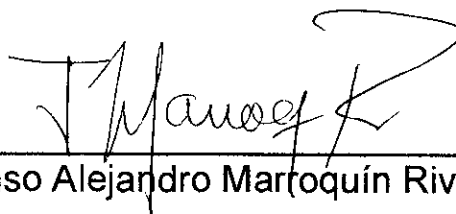
Ing. José Eduardo Calderón García  
Asesor

Tribunal:



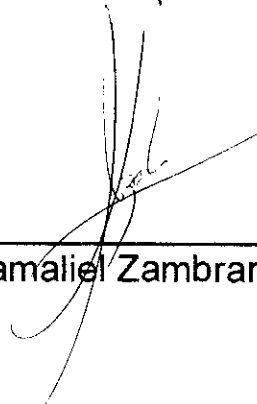
---

Ing. José Eduardo Calderón García  
Director Departamento Ingeniería Química



---

Ing. Jorge Alfonso Alejandro Marroquín Rivera



---

Ing. Gamaliel Zambrano Ruano

**Fecha de Aprobación: Guatemala, 20 de Mayo de 2002.**

# ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE TABLAS .....	vi
LISTA DE GRAFICAS .....	vii
RESUMEN .....	ix
 Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES:	
Fundamentos sobre el concreto .....	3
A. Concreto .....	3
B. Componentes del concreto .....	4
1. Pasta .....	4
2. Agregados .....	4
a. Agregados finos .....	5
b. Agregados gruesos .....	5
C. Propiedades del concreto recién mezclado .....	7
1. Mezclado .....	8
2. Trabajabilidad .....	9
3. Consolidación .....	9
4. Hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento .....	10
D. Propiedades del concreto endurecido .....	12
1. Velocidad de secado del concreto .....	12
2. Resistencia .....	12

Cementos .....	14
A. Cemento .....	14
1. Cemento Portland .....	15
a. Historia .....	16
b. Fabricación del Cemento Portland .....	17
2. Cementos Especiales .....	19
a. Cemento Portland gris 4000 PSI .....	20
i. Características .....	20
ii. Usos .....	21
Agregados .....	22
A. Agregados .....	22
B. Dosificación de agregados en hormigones .....	23
Aguas de mezclado .....	25
A. Aguas de mezclado .....	25
B. Pozo artesiano .....	25
1. Principales contaminantes en pozos artesianos .....	26
2. Fuentes de contaminación y control .....	27
a. Contaminación urbana .....	27
b. Contaminación industrial .....	28
c. Contaminación agrícola y ganadera .....	28
C. Análisis típicos de agua de pozos en Guatemala .....	29
1. Cloruros .....	30
2. Carbonatos .....	30
3. Sulfatos .....	31
4. Ácidos y Bases .....	32
5. Grasas y Aceites .....	32
6. Diversas Sales Inorgánicas .....	33
D. Relación agua-cemento .....	33
III. JUSTIFICACIÓN .....	35
IV. OBJETIVOS .....	36
A. Objetivos generales .....	36
B. Objetivos específicos .....	36

V. PROBLEMA A RESOLVER .....	38
VI. METODOLOGÍA .....	38
A. Muestreo de aguas .....	38
B. Análisis de aguas .....	38
C. Preparación de mezclas de concreto para su evaluación .....	
D. Registro y control de muestras .....	38
E. Pruebas de resistencia a la compresión .....	39
	39
VII. RESULTADOS .....	40
VIII. DISCUSION DE RESULTADOS .....	57
IX. CONCLUSIONES .....	62
X. RECOMENDACIONES .....	64
XI. BIBLIOGRAFIA.....	65
XII ANEXOS .....	68
*Normas ASTM relacionadas con la mampostería del concreto ...	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1. Variación de las proporciones en volúmenes absolutos de los materiales utilizados en el concreto. ....	7
2.2. Ensayo de compresión de un cilindro de concreto de 10 X 30 cm .....	13
2.3. Presentación Cemento Pórtland gris 4000 PSI .....	20

2.4.	Estructuración de agregados gruesos y finos en partículas de concreto .....	23
12.5.	Compresión de cilindros de concreto de 15x30 cm. con prensa marca SOILTEST de 60 ciclos .....	68
12.6.	Laboratorio de resistencia de materiales. Prensa marca SOILTEST de 60 ciclos y área de cómputo de resultados .....	69
12.7.	Ing. Carlos Arturo Mora, Laboratorio de resistencia de materiales .....	69
12.8.	Equipo auxiliar para máquina universal .....	70
12.9.	Equipo de revenimiento para concreto .....	71
12.10	Molde tipo Porter .....	71
12.11	Moldes para cilindros de concreto y morteros .....	71
12.12	Equipo para partículas alargadas y ladeadas, cono y pinzón para absorción de arenas y pignómetro tipo sifón .....	71
12.13	Aparato para límites líquidos copa de CASAGRANDE .....	71
12.14	Prensa eléctrica de 120 tons. Capacidad para cilindros de concreto ...	71
12.15	Pruebas de compresión de concreto en obra .....	72
12.16	Equipo en el Laboratorio de Estructuras del Departamento de Ingeniería CONCYTEC, México, para pruebas de calidad del concreto .....	73
12.17	Proceso de producción de concreto para uso industrial .....	75

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
2.1. Fuentes de materias primas empleadas para la fabricación del Cemento Pórtland .....	18
2.2. Materiales nocivos en los agregados .....	24
2.3. Análisis típicos de aguas de pozos en diversos sectores de la Ciudad de Guatemala .....	29
7.4. Análisis estadístico de concentración de $\text{SiO}_2$ en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	41
7.5. Análisis estadístico de concentración de Fe en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	42
7.6. Análisis estadístico de concentración de Ca en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	43
7.7. Análisis estadístico de concentración de Mg en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	44
7.8. Análisis estadístico de concentración de Na en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	45
7.9. Análisis estadístico de concentración de K en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	46
7.10. Análisis estadístico de concentración de $\text{HCO}_3$ en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	47
7.11. Análisis estadístico de concentración de $\text{SO}_4$ en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	48
7.12. Análisis estadístico de concentración de Cl en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	49
7.13. Análisis estadístico de concentración de $\text{NO}_3$ en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	50
7.14. Análisis estadístico de concentración de sólidos disueltos en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez .....	51

7.15.	Informe de elaboración y ruptura de cilindros de muestreo .....	52
7.16.	Análisis estadístico para esfuerzos a compresión de cilindros de muestreo .....	53

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica	Página
2.1. Desarrollo típico de resistencia a la compresión de cemento Portland gris 4000 PSI – 28N/mm <sup>2</sup> . .....	21
7.2. Concentración de SiO <sub>2</sub> en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	41
7.3. Concentración de Fe en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	42
7.4. Concentración de Ca en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	43
7.5. Concentración de Mg en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	44
7.6. Concentración de Na en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	45
7.7. Concentración de K en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	46

7.8.	Concentración de $\text{HCO}_3$ en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	47
7.9.	Concentración de $\text{SO}_4$ en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	48
7.10.	Concentración de Cl en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	49
7.11.	Concentración de $\text{NO}_3$ en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad.	50
7.12.	Concentración de sólidos disueltos en muestras de agua de pozos analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de óptima calidad .....	51
7.13.	Análisis estadístico de los esfuerzos a compresión de muestras de concreto elaboradas con agua de pozos de La Antigua, Sacatepéquez .....	54
7.14.	Análisis estadístico de los esfuerzos a compresión de muestras de concreto elaboradas con agua de pozos de San Juan, Sacatepéquez	55
7.15.	Análisis estadístico de los esfuerzos a compresión de muestras de concreto elaboradas con agua de pozos de San Lucas Sacatepéquez	56

## RESUMEN

Este trabajo de investigación se realizó con el propósito de determinar la calidad del concreto producido para fines de construcción a partir del agua de pozos, de calidad incierta, en los municipios de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez, próximos a establecimientos industriales. Para ello, fue necesario analizar las concentraciones de contaminantes químicos orgánicos e inorgánicos en distintas aguas de muestreo, en pozos ubicados aleatoriamente a lo largo de cada municipio. El análisis de las aguas se realizó mediante el método de cromatografía líquida en columna empacada y, a pesar de que se esperaba según teoría, encontrar concentraciones elevadas de contaminantes en las muestras de agua de pozo analizadas, debido a su cercanía a diversas fuentes de contaminación, los resultados generados no rebasaron los límites máximos permisibles, establecidos teóricamente, para que las aguas de mezclado produzcan alteraciones relevantes en las propiedades físicas y químicas características del concreto. Esto se debió al tipo de suelo del departamento de Sacatepéquez, que es montañoso y homogéneo en gran parte de su extensión, y que sirve como filtro natural, ya que retiene entre capa y capa de subsuelos, partículas químicas contaminantes disueltas en las aguas que circulan a través de ellas y proporciona a las aguas subterráneas bajas concentraciones de contaminantes disueltos propias del terreno que las contiene.

La preparación de los cilindros para la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto se hizo de acuerdo a las especificaciones de las Normas American Standard for Tests and Materials (ASTM) C 172 para los Métodos de Muestreo de Concreto. No obstante, el análisis de resistencia a la compresión de los cilindros de muestreo generó resultados por debajo de los valores teóricos esperados, para concreto de albañilería compuesto por Cemento Portland gris 4000 PSI, agua de mezclado previamente analizada y agregados (arena de río y

pedrín de ½”), en proporción 1:2:3 respectivamente, con un 15% de error. Este error se atribuyó a la deficiencia en el control de condiciones de laboratorio requeridas para garantizar el éxito de este tipo de análisis.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El Departamento de Sacatepéquez, ubicado en la zona central del territorio guatemalteco, presenta como tal, ciertas características especiales propias de la región, que conjugadas con la diversidad de costumbres, implican diferentes tradiciones y hábitos que se reflejan en su diario vivir; tradiciones que se han legado durante muchas generaciones y que incluyen entre otros elementos culturales el tipo de edificaciones que prefieren construir y habitar.

El territorio guatemalteco constantemente se ha visto afectado por la amenaza sísmica, que afecta toda la región. Esto aunado al analfabetismo que impera en el área rural guatemalteca y al empirismo y baja calidad con la que nuestros artesanos acostumbran construir, determina en ocasiones un "alto riesgo", ya que actualmente la mayoría de edificaciones en esta área rural, corresponde a estructuras de concreto que no llenan, en algunos casos, los requisitos mínimos de seguridad.

Después de observar y estudiar estos patrones en los municipios de San Lucas, La Antigua y San Juan Sacatepéquez, y principalmente, al tomar en consideración la mano de obra no calificada que generalmente se emplea a nivel de Ingeniería Civil, para la construcción de edificaciones en esta región y las pobres condiciones con que cuentan para este fin, se consideró de gran valor, hacer una evaluación química del "concreto de albañilería", producido en el área. Se espera que este sirva como un manual instructivo sobre los factores que afectan mayormente la resistencia del concreto y que satisfaga la necesidad de mejorar la calidad (seguridad) de las edificaciones construidas en dicho departamento, aún cuando el conocimiento químico de nuestros artesanos sea casi nulo y su

calificación sea netamente empírica en cuanto a técnicas y procedimientos de construcción.

El método de evaluación y diagnóstico se concentró en el estudio del agua para mezclas de concreto, pues es un tema poco estudiado en este ámbito, en comparación a los temas de cementos y agregados, todos componentes del concreto y de los cuales hay infinidad de trabajos de distinta índole. El estudio se dirigió específicamente a los municipios de San Lucas Sacatepéquez, San Juan Sacatepéquez y La Antigua, cabecera del Departamento de Sacatepéquez. Se seleccionaron por ser regiones en vías de rápido crecimiento, por la diversidad de actividades económicas que en ellos se llevan a cabo y por la contaminación de aguas subterráneas que éstas generan, por lo que ofrecían las condiciones deseadas para este trabajo de investigación.

Por tanto, el propósito general de este trabajo de investigación radica en elaborar un manual que establezca las condiciones adecuadas de agua de pozo para la producción de concreto de albañilería de óptima calidad, en el departamento de Sacatepéquez, y que incida en la seguridad de las obras de tipo civil edificadas en dicho departamento.

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES

#### FUNDAMENTOS SOBRE EL CONCRETO

##### A. CONCRETO

El concreto u hormigón es un material artificial utilizado en ingeniería. Está constituido básicamente por la mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa aglutinadora semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química que resulta de mezclar el cemento y el agua, según Powers (1986).

El concreto es casi el único material de construcción que llega en bruto a la obra. Esta característica hace que sea muy útil en construcción, ya que puede moldearse de muchas formas. Presenta una amplia variedad de texturas y colores y se utiliza para construir diversidad de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas, embarcaderos y muelles, aceras, silos o bodegas, factorías, casas e incluso barcos, como indica Powers (1986).

Otras características favorables del concreto son su resistencia, su bajo costo y su larga duración. Si se mezcla con los materiales adecuados, el concreto puede soportar fuerzas de compresión elevadas. Su resistencia longitudinal es baja, pero al reforzarlo con acero y a través de un diseño adecuado se puede hacer que la estructura sea tan resistente a las fuerzas longitudinales como a la compresión. Su larga duración se evidencia en la conser-

vación de columnas construidas por los egipcios hace más de 3.600 años, según cita Powers (1986).

## B. COMPONENTES DEL CONCRETO

### 1. PASTA

La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40% del volumen total del concreto. La Fig.1-1 muestra que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15% y el agua entre el 14 y el 21%. El contenido de aire en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% de su volumen, de acuerdo al tamaño máximo del agregado grueso, como expone Powers (1986).

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado, citado por Powers (1986).

### 2. AGREGADOS

Como los agregados constituyen del 60 al 75% del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada, así como resistencia a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que contribuyan al deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas. Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos, como indica Powers (1986).

#### a. Agregados Finos:

Consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm. La arena no es más que una masa desintegrada e incoherente de materias minerales en estado granular fino, que consta normalmente de cuarzo (sílice) con una pequeña proporción de mica, feldespato, magnetita y otros minerales resistentes. Es el producto de la desintegración química y mecánica de la rocas bajo meteorización y abrasión. Cuando las partículas acaban de formarse suelen ser angulosas y puntiagudas, se hacen más pequeñas y redondeadas por la fricción provocada por el viento y el agua, según McMillan (1979).

La arena es un constituyente importante de muchos suelos y es muy abundante como depósito superficial a lo largo de los cursos de muchos ríos, en las orillas de lagos, en las costas y en las regiones áridas, señala McMillan (1979).

#### b. Agregados Gruesos:

Son aquellos cuyas partículas que alcanzan hasta los 152mm. No obstante, el tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente para la fabricación de concreto no debe exceder los 19 a 25mm. Los agregados gruesos empleados para la fabricación de concreto pueden ser grava, piedra triturada o escoria, como indica Brunauer (1984).

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento. A continuación se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua en la mezcla:

- i. Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- ii. Se obtiene menor permeabilidad y, por ende, mayor hermeticidad y menor absorción.
- iii. Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- iv. Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el refuerzo.
- v. Se presenta menor cambio volumétrico, causado por humedecimiento y secado.
- vi. Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción, según Brunauer (1984).

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto en cuanto a su condición para consolidarse adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas, pero si se aplicara el proceso de vibración, aún las mezclas más rígidas pueden emplearse. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía, como afirma Brunauer (1984).

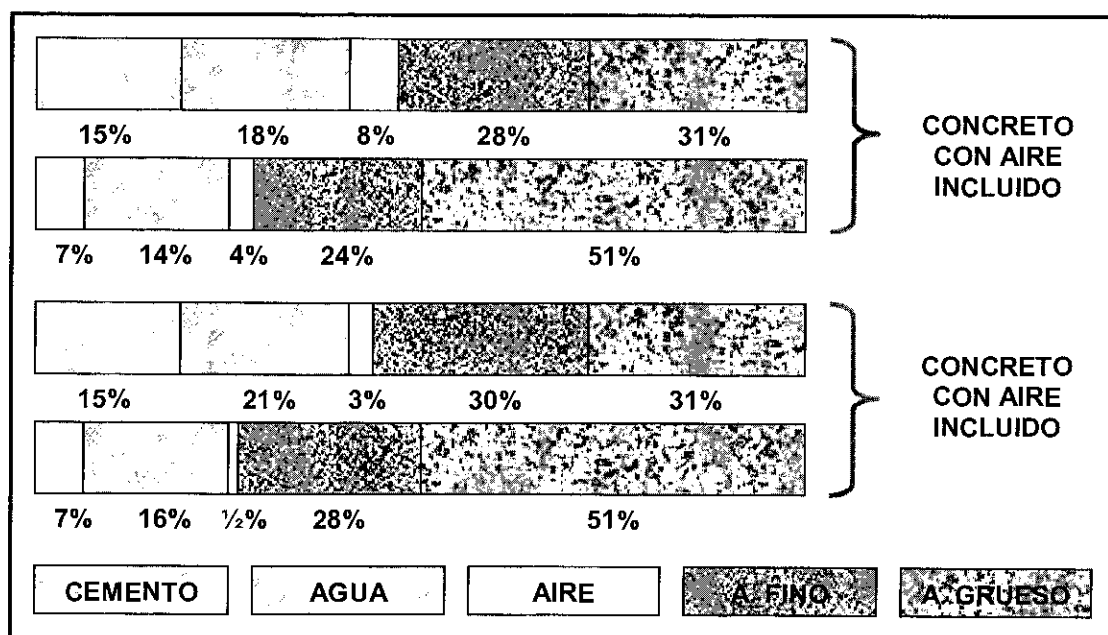
Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido pueden modificarse al agregar aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación. Los aditivos se utilizan comúnmente para:

- i. Ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento.
- ii. Reducir la demanda de agua.
- iii. Aumentar la trabajabilidad.
- iv. Incluir intencionalmente aire.
- v. Ajustar otras propiedades del concreto.

Los aditivos se tratarán posteriormente, expone Brunauer (1984).

Después de trabajar con proporciones adecuadas, así como con dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado y curado el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, que soporta el desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o ningún mantenimiento. El concreto es además un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones, expresa Brunauer (1984).

Figura No. 2.1: Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales utilizados en el concreto.



### C. PROPIEDADES DEL CONCRETO RECIEN 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 que puede colarse, pero no entra en la definición de "plástico" que se

refiere a aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para moldear, según Backstorm (1995).

En una mezcla de cemento plástico, todos los granos de arena y las piezas de grava o piedra quedan 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 en consistencia plástica no se desmorona, sino que fluye como un líquido viscoso sin separarse. El revenimiento o adherencia se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura, expone Backstorm (1995).

## 1. MEZCLADO

Los cinco componentes básicos del concreto se muestran separadamente en la Figura 2.1. 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 del agua, en el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y en la velocidad de la revolución, desde el punto de vista de Backstorm (1995).

Otros factores importantes de mezclado son el tamaño de la batchada (volumen de mezcla) en 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. Las mezcladoras aprobadas, con operación y mantenimiento correctos, aseguran un intercambio de materiales de extremo a extremo por medio de una acción de rolado, plegado y amasado

de la bachada sobre sí misma a medida que se integran los componentes, según Backstorm (1995).

## 2. TRABAJABILIDAD

La facilidad de colocar, consolidar y darle algún tipo de acabado al concreto recién mezclado se denomina trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable, pero no se debe segregar ni sangrar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado. Es provocada por el asentamiento de los materiales sólidos -cemento, arena y piedra- de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad, como cita Backstorm (1995).

Un sangrado excesivo aumenta la relación agua cemento cerca de la superficie, puede dar como resultado una capa superior débil de baja durabilidad, particularmente si se llevan a cabo las condiciones de acabado mientras está presente el agua del 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 mejora la trabajabilidad del concreto fresco e impide que se segregue y sangre, según Backstorm (1995).

## 3. CONSOLIDACION

La vibración pone en movimiento las partículas en el concreto recién mezclado, reduce la fricción entre ellas y da a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de una mezcla más dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Al emplear un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar

con pasta, lo que ocasiona que sea necesaria una cantidad menor de agua y de cemento. Con una consolidación adecuada, las mezclas más duras y ásperas pueden ser empleadas, lo que da como resultado una mayor calidad y economía, expone Backstorm (1995).

#### 4. HIDRATACION, TIEMPO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO

La propiedad de liga de la pasta 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 compuestos principales, algunos otros desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación, indica Backstorm (1995).

Los dos silicatos de calcio, que constituyen cerca del 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio. Este último es el componente cementante más importante en el concreto. Las propiedades ingenieriles del concreto, -el fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional-, dependen principalmente del gel del hidrato de silicato de calcio, expresa Backstorm (1995).

La composición química del silicato de calcio hidratado es en cierto modo variable, pero contiene cal ( $\text{CaO}$ ) y sílice ( $\text{SiO}_2$ ), en una proporción sobre el orden de 3 a 2. El área superficial del hidrato de silicato de calcio es de unos  $300 \text{ m}^2/\text{g}$ . Las partículas son tan diminutas que solamente pueden ser vistas en un microscopio electrónico. En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los

granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo en conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de la resistencia, como afirma Backstorm (1995).

Cuando el concreto fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna. La resistencia se encuentra en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato de silicato de calcio y en las fases cristalinas, como señala Backstorm (1995).

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto. Por lo tanto, cuando se mezcla el concreto no se debe usar una cantidad mayor de agua que la absolutamente necesaria para fabricar un concreto plástico y trabajable. Aún entonces, el agua empleada es usualmente mayor que la que se requiere para la completa hidratación del cemento. La relación mínima agua cemento (en peso) para la hidratación total es aproximadamente de 0.22-0.25, según Backstorm (1995).

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua, porque ésta determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso presente en la composición del cemento actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua agregada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado, expone Backstorm (1995).

## D. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

### 1. VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO

El concreto ni endurece ni se cura con el secado. El concreto requiere de humedad para hidratarse y endurecer. El secado del concreto únicamente esta relacionado con la hidratación y el endurecimiento de manera indirecta. Al secarse el concreto, deja de ganar resistencia. El hecho que esté seco, no es indicación de que haya experimentado la suficiente hidratación para lograr las propiedades físicas deseadas, según Powers (1995).

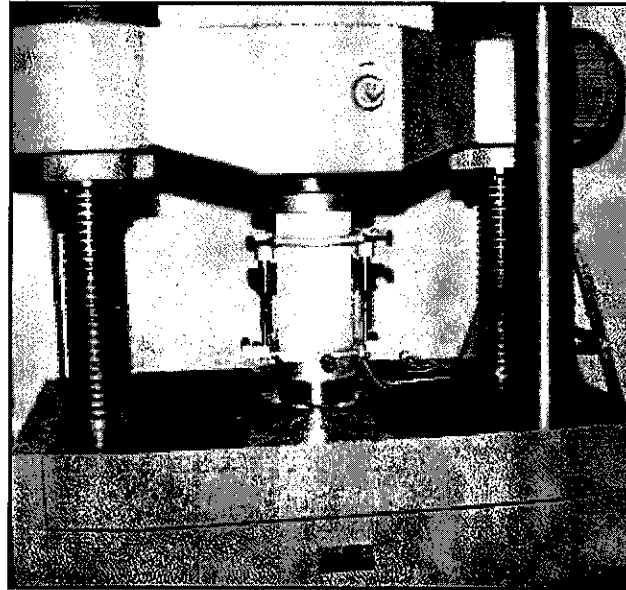
### 2. RESISTENCIA

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo  $f'c$ . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas sobre especímenes de concreto o mortero. Mundialmente, (a menos que se especifique de otra manera), los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm; en tanto que los ensayos a compresión de concreto se efectúan sobre cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, expresa Brikkerhoff (1998).

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puentes, de edificios y de otras estructuras. El concreto de uso más generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm<sup>2</sup>. Un

concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de por lo menos  $420 \text{ kg/cm}^2$ , expone Brikkerhoff (1998).

Figura No. 2.2: Ensayo de compresión de un cilindro de concreto de 15 X 30 cm.



## CEMENTOS

### A. CEMENTO

El cemento es una sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con agua y que se endurece espontáneamente al entrar en contacto con el aire.

El cemento tiene diversas aplicaciones, como en la unión de arena y grava con cemento Pórtland, el más usual para formar hormigón, pegar superficies de distintos materiales o para revestimientos de superficies, a fin de protegerlas de la acción de sustancias químicas. El cemento tiene diferentes composiciones para usos diversos. Pueden recibir el nombre del componente principal, como el cemento calcáreo, que contiene óxido de silicio, o como el cemento epoxiaco, que contiene resinas epoxídicas; o de su principal característica, como el cemento hidráulico, o el cemento rápido. Los cementos utilizados en la construcción se denominan en algunas ocasiones por su origen, como el cemento romano, o por su parecido con otros materiales, como el caso del cemento Portland, que tiene cierta semejanza con la piedra de Portland, usada en Gran Bretaña para la construcción. Los cementos que resisten altas temperaturas se llaman cementos refractantes.

El cemento se asienta o endurece por evaporación del líquido plasticizante, como el agua, por transformación química interna, por hidratación, o por el crecimiento de cristales entrelazados. Otros tipos de cemento se endurecen al reaccionar con el oxígeno y el dióxido de carbono de la atmósfera, según Brunauer (1997).

## 1. CEMENTOS PORTLAND

Los cementos Portland están compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos. Los cementos hidráulicos fraguan y se endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta de aspecto similar a una roca. Cuando la pasta (cemento y agua) se junta con los agregados (arena, grava, piedra triturada u otro material granular) actúa como adhesivo y une todas las partículas para formar así el concreto, el material de construcción más versátil y de mayor uso en el mundo, cita Bogue (1995).

Los cementos Portland típicos consisten de mezclas de silicato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), aluminato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y silicato dicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) en diversas proporciones, junto con pequeñas cantidades de compuestos de magnesio y hierro. Para retardar el proceso de endurecimiento suele añadirse yeso, según indica Bogue (1995).

Los compuestos activos del cemento son inestables y en presencia de agua reorganizan su estructura. El endurecimiento inicial del cemento se produce por la hidratación del silicato tricálcico, el cual forma una sílice hidratada gelatinosa e hidróxido de calcio. Estas sustancias se cristalizan y unen las partículas de arena o piedras, siempre presentes en las mezclas de argamasa de cemento, para crear una masa dura. El aluminato tricálcico actúa del mismo modo en la primera fase, pero no contribuye al endurecimiento final de la mezcla. La hidratación del silicato dicálcico actúa de modo semejante, pero mucho más lentamente y se endurece poco a poco durante varios años. El proceso de hidratación y asentamiento de la mezcla de cemento, durante el cual se desprende calor, se conoce como curado, expresa Bogue (1995).

La hidratación comienza tan pronto como el cemento entra en contacto con el agua. Cada partícula de cemento aumenta su tamaño, de modo que gradualmente se extiende hasta enlazarse con las otras partículas de cemento o hasta adherirse a las sustancias adyacentes. Esta reconstitución tiene como resultado la progresiva rigidización, endurecimiento y desarrollo de resistencia. La rigidización del concreto se puede reconocer por una pérdida de trabajabilidad que normalmente ocurre dentro de las primeras tres horas luego del mezclado, pero depende de la composición y finura del cemento, de las propiedades de la mezcla y de las condiciones de temperatura. Posteriormente el concreto fragua y comienza a endurecerse, como afirma Bogue (1995).

La hidratación prosigue mientras se disponga de espacio para los productos de la hidratación y se tengan condiciones favorables de humedad y temperatura (curado). A medida que la hidratación continúa, el concreto se vuelve más duro y más resistente. La mayor parte de la hidratación y del desarrollo de la resistencia tiene lugar durante el primer mes del ciclo de vida del concreto, pero continúa, aunque más lentamente, durante un largo período, como expresa Bogue (1995).

a. Historia:

Aunque ciertos tipos de cementos que se fraguan y endurecen con agua de origen mineral eran conocidos desde la antigüedad, sólo han sido empleados como cementos hidráulicos a partir de mediados del siglo XVIII. El término cemento Portland fue empleado por primera vez en 1824 por el fabricante inglés de cemento Joseph Aspdin, debido a su parecido con la piedra de Portland, que era muy utilizada para la construcción en Inglaterra. El primer cemento Portland moderno, hecho de piedra caliza y arcillas o pizarras calentadas hasta convertirse en carbonilla (o escorias) y después trituradas fue producido en Gran Bretaña en 1845. En aquella época el cemento se fabricaba

en hornos verticales, se esparcirían las materias primas sobre capas de coque a las que se prendía fuego. Los primeros hornos rotatorios surgieron hacia 1880. El cemento Portland se emplea hoy en la mayoría de las estructuras de hormigón, según Campbell (1996).

b. Fabricación del cemento Portland:

El cemento Portland se fabrica a partir de materiales calizos, por lo general piedra caliza, junto con arcillas, pizarras o escorias de altos hornos que contienen óxido de aluminio y óxido de silicio, en proporciones aproximadas de un 60% de cal, 19% de óxido de silicio, 8% de óxido de aluminio, 5% de hierro, 5% de óxido de magnesio y 3% de trióxido de azufre. Ciertas rocas llamadas rocas cementosas tienen una composición natural de estos elementos en proporciones adecuadas y se puede hacer cemento con ellas, sin necesidad de emplear grandes cantidades de otras materias primas. No obstante, en la industria cementera se suele utilizar mezclas de diversos materiales, según expresa Campbell (1996).

En la fabricación del cemento se trituran las materias primas mezcladas y se calientan hasta que se funden en forma de escoria, que a su vez se tritura hasta lograr un polvo fino. Para el calentamiento se suele emplear un horno rotatorio de más de 150 m de largo y más de 3.2 m de diámetro. Estos hornos están ligeramente inclinados y las materias primas se introducen por su parte superior, ya sea en forma de polvo seco de roca o como pasta húmeda hecha de roca triturada y agua. A medida que desciende a través del horno, se va secando y calentando con una llama situada al fondo del mismo. A medida que se acerca a la llama se separa el dióxido de carbono y la mezcla se funde a temperaturas entre 1,540 y 1,600 °C. El material tarda unas seis horas en pasar de un extremo a otro del horno. Al salir se enfría con rapidez, se tritura y se traslada con un compresor a una empaquetadora o a depósitos de almace-

namiento. El material obtenido tiene una textura tan fina que el 90% ó más de sus partículas podría atravesar un tamiz o colador con 6,200 agujeros por centímetro cuadrado, como indica Campbell (1996).

En los hornos modernos se puede obtener de 27 a 30 kg de cemento por cada 45 kg de materia prima. La diferencia se debe sobre todo a la pérdida de agua y dióxido de carbono. Por lo general en los hornos se quema carbón en polvo. Se consumen unos 450 kg de carbón por cada 900 g de cemento fabricado. También se utilizan gases y aceites, según Campbell (1996).

Para comprobar la calidad del cemento se llevan a cabo numerosas pruebas. Un método común consiste en tomar una muestra de argamasa de tres partes de arena y una de cemento y medir su resistencia a la tracción, después de una semana sumergida en agua, expone Campbell (1996).

Tabla No. 2.4: Fuentes de materias primas empleadas para la fabricación del Cemento Portland.

<b>Cal (CaO)</b>	<b>Alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b>	<b>Sílice (SiO<sub>2</sub>)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Desechos Industriales</li> <li>❖ Aragonita</li> <li>❖ Calcita</li> <li>❖ Polvo horno de cemento</li> <li>❖ Roca Calcárea</li> <li>❖ Creta</li> <li>❖ Arcilla</li> <li>❖ Greda</li> <li>❖ Caliza</li> <li>❖ Mármol</li> <li>❖ Marga</li> <li>❖ Coquilla</li> <li>❖ Esquisto</li> <li>❖ Escoria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Desperdicio de mineral de aluminio</li> <li>❖ Bauxita</li> <li>❖ Roca Calcárea</li> <li>❖ Arcilla</li> <li>❖ Escoria de cobre</li> <li>❖ Ceniza Volante</li> <li>❖ Greda</li> <li>❖ Granodiorita</li> <li>❖ Caliza</li> <li>❖ Loes</li> <li>❖ Lavaduras de mineral</li> <li>❖ Esquisto</li> <li>❖ Escoria</li> <li>❖ Estaurolita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Silicato de Calcio</li> <li>❖ Roca Calcárea</li> <li>❖ Arcilla Ceniza Volátil</li> <li>❖ Greda Caliza</li> <li>❖ Loes</li> <li>❖ Marga</li> <li>❖ Lavaduras de Mineral</li> <li>❖ Cuarcita</li> <li>❖ Ceniza de cáscara de arroz</li> <li>❖ Arena</li> <li>❖ Arenisca</li> <li>❖ Esquisto</li> <li>❖ Escoria</li> <li>❖ Basalto</li> </ul>
<b>Hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b>	<b>Yeso (CaSO<sub>4</sub>*2H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Magnesio (MgO)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Polvo horno fundición</li> <li>❖ Arcilla y Esquistos</li> <li>❖ Mineral de hierro</li> <li>❖ Costras de laminado</li> <li>❖ Lavaduras de mineral</li> <li>❖ Cenizas de pirita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Anhidrita</li> <li>❖ Sulfato de Calcio</li> <li>❖ Yeso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Roca Calcárea</li> <li>❖ Caliza</li> <li>❖ Escoria</li> </ul>

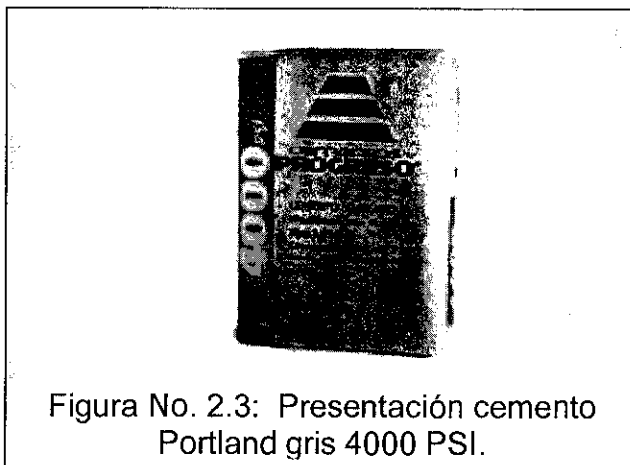
## 2. CEMENTOS ESPECIALES

Mediante la variación del porcentaje de sus componentes habituales o la adición de otros, el cemento Portland puede adquirir diversas características de acuerdo a cada uso, como el endurecimiento rápido y resistencia a los álcalis. Los cementos de fraguado rápido, a veces llamados cementos de dureza extrarrápida, se consiguen al aumentar la proporción de silicato tricálcico o mediante una trituración fina de modo que el 99.5% logre pasar un filtro de 16.370 aberturas por centímetro cuadrado. Algunos de estos cementos se endurecen en un día, al mismo nivel que los cementos ordinarios lo hacen en un mes. Sin embargo, durante la hidratación producen mucho calor y por ello no son apropiados para grandes estructuras en las que ese nivel de calor puede provocar la formación de grietas. En los grandes vertidos suelen emplearse cementos especiales de poco nivel de calor, que por lo general contienen mayor cantidad de silicato dicálcico. En obras de hormigón expuestas a agentes alcalinos, que atacan al hormigón fabricado con cemento Portland común, suelen emplearse cementos resistentes con bajo contenido de aluminio. En estructuras construidas bajo el agua del mar suelen utilizarse cementos con un contenido de hasta un 5% de óxido de hierro y, cuando se precise resistencia a la acción de aguas ricas en sulfatos, se emplean cementos con una composición de hasta 40% de óxido de aluminio, señala Copeland (1980).

Los países más poblados y/o industrializados tienen en la actualidad la mayor producción de cemento, pero la industria cementera también es importante en los países menos desarrollados. Rusia, China, Japón y Estados

Unidos son los mayores productores, pero Alemania, Francia, Italia, España y Brasil son también productores importantes, según Copeland (1980).

a. Cemento Portland gris 4000 libras por pulgada cuadrada (PSI):



i. Características:

Cemento Progreso 4000 PSI puede usarse en todo tipo de construcciones. Su empleo es ideal y más económico en construcciones que no requieren de muy alta resistencia inicial, como viviendas aisladas o en serie y construcciones medianas o pequeñas. Tiene una moderada resistencia química a aguas y suelos agresivos y no produce extremado calor durante la hidratación, lo que lo hace más adaptable a la variedad climática y ambiental de Guatemala, como afirma Copeland (1980).

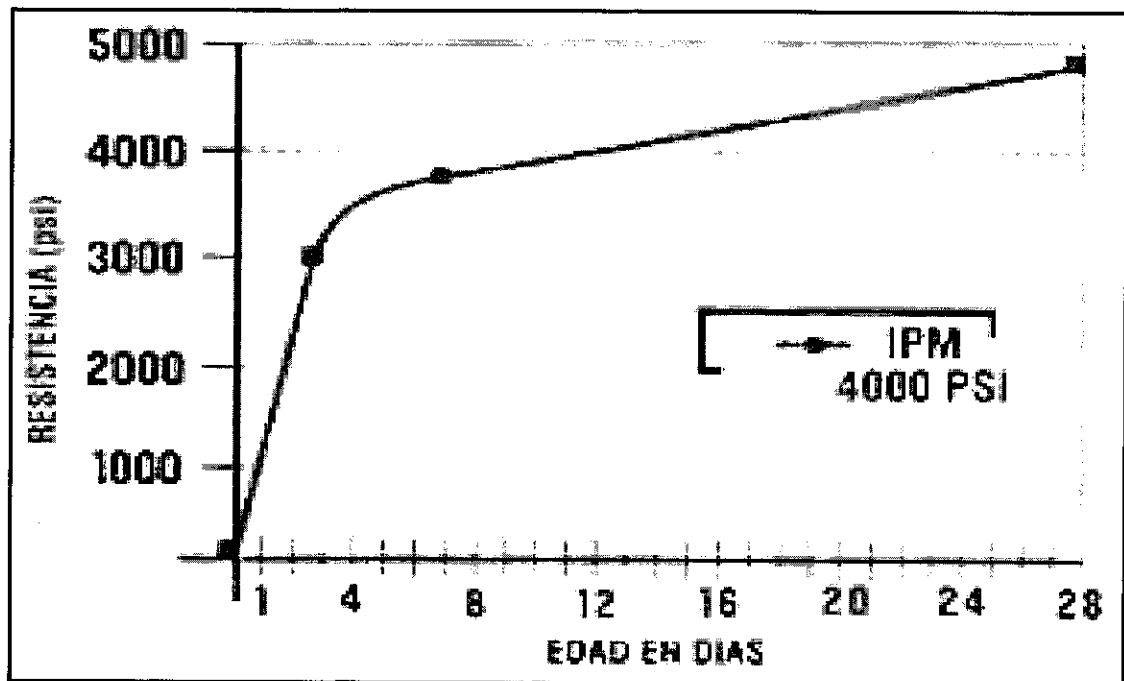
Es un cemento Portland modificado con puzolanas tipo I (PM), con adición del 15% de toba volcánica (puzolana natural). Es para uso general en la construcción y corresponde a la clase de resistencia 4000 psi (28 N/mm<sup>2</sup> ó 28 MPa), ésta es una medida expresada como fuerza por unidad de área en libras por pulgada cuadrada (psi) en Newtons por milímetro cuadrado o Mega Pascales, que es su equivalente en el Sistema Internacional de Unidades (SI). Cumple con los requisitos de las normas nacionales e internacionales para cementos hidráu-

licos mezclados, COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas) NGO 41001 y C595 de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (por sus siglas en inglés, ASTM), indica Copeland (1980).

ii. Usos:

- a.) Estructuras de concreto simple o reforzado que no requiere de muy alta resistencia inicial, que constituyen la mayoría de construcciones.
- b.) Concretos expuestos a ataques químicos moderados, según expresa Copeland (1980).

Gráfica No. 2.1: Gráfica de desarrollo típico de resistencia a compresión de cemento Pórtland gris 4000 PSI – 28 N/mm<sup>2</sup>.



## AGREGADOS

### A. AGREGADOS

La importancia de utilizar el tipo y la calidad convenientes de agregados, no debe ser subestimada, pues los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen total del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía, según Verbeck (1995).

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada, la mayoría de sus partículas son menores que 5mm de diámetro. Los agregados gruesos consisten en grava o una combinación de gravas o agregado triturado, cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm; generalmente entre 9.5 y 38mm. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados grava de mina, consisten en grava y arena que pueden ser utilizadas en el concreto luego de un tratamiento mínimo. La grava y arena naturales, usualmente obtenido al excavar o dragar de alguna mina, río, lago, o lecho marino. El agregado triturado se produce al triturar roca de cantera, piedra bola, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino. Generalmente los agregados se lavan y se gradúan en la mina o planta. Cerca de la mitad de los agregados gruesos empleados en el concreto de Cemento Portland son gravas, la mayor parte del resto son piedras trituradas, como cita Stark (1984).

Los agregados para concreto que se encuentran en estado natural, son una mezcla de rocas y minerales. Un mineral es una sustancia sólida natural que tiene una estructura interna ordenada y una composición química definida. Las

rocas, que de acuerdo a su origen se pueden clasificar en ígneas, sedimentarias o metamórficas, se componen generalmente de varios minerales. La exposición a la intemperie y la erosión de suelos producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla, afirma Litvin (1986).

Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo en ingeniería: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de impurezas químicas absorbidas, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento, expresa Houston (1996).

## B. DOSIFICACION DE AGREGADOS EN HORMIGONES

Las proporciones en que se mezclan los componentes básicos y complementarios del hormigón constituyen su dosificación. Las propiedades del hormigón endurecido dependen de la dosificación inicial de los componentes básicos y complementarios, del proceso de mezclado y del proceso de curado. En términos generales los agregados dotan al hormigón de una estructura interna en la que los agregados más finos se intercalan entre los más gruesos.

Figura No. 2.4: Estructuración de agregados gruesos y finos en partículas de concreto.

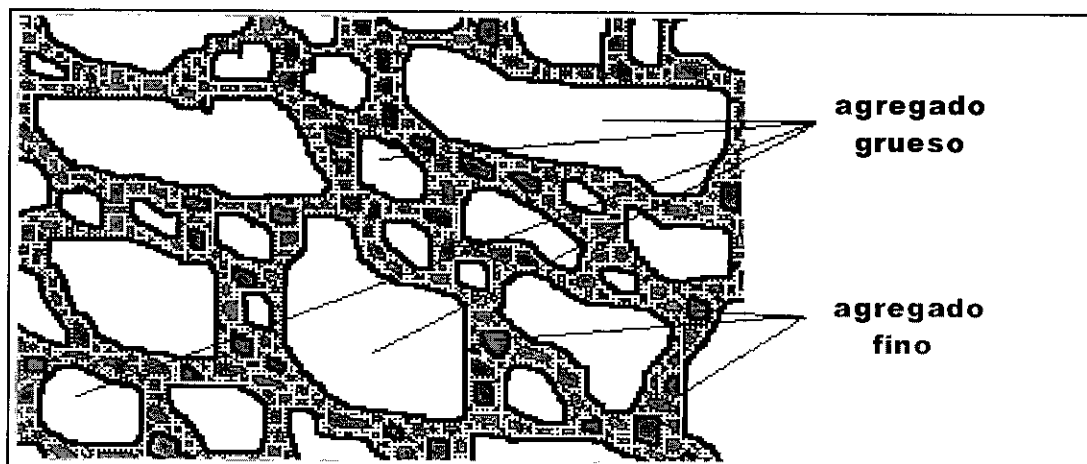


Tabla No. 2.2: Materiales nocivos en los agregados

<b>SUSTANCIA</b>	<b>EFFECTO EN EL CONCRETO</b>	<b>DESIGNACION DE LA PRUEBA</b>
Impurezas Orgánicas	Afectan el fraguado y el endurecimiento. Pueden causar deterioro acelerado en un corto tiempo.	ASTM C 40 ASTM C 87
Material más fino que la malla No. 200 (80 micras)	Afecta la adherencia, aumenta la cantidad de agua requerida en la relación agua y cemento.	ASTM C 117
Carbón, lignito u otros materiales de peso ligero	Afectan la durabilidad del concreto.	ASTM C 123
Partículas suaves	Afectan la trabajabilidad y la durabilidad del concreto. Pueden provocar erupciones.	ASTM C 142
Terrones de arcilla y partículas deleznales	Afectan la durabilidad del concreto. Pueden provocar erupciones.	ASTM C 123 ASTM C 259
Hosteno de densidad relativa inferior a 2.40	Afectan la durabilidad del concreto. Pueden provocar erupciones.	ASTM c 123
Agregados reactivos con los alcálisis	Expansión anormal, agrietamiento y erupciones	ASTM C 227 ASTM C 289 ASTM C 295 ASTM C 342 ASTM C 586

## AGUAS DE MEZCLADO

### A. AGUAS DE MEZCLADO

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado puede servir para producir concreto. Algunas aguas no potables también pueden ser adecuadas para la producción de concreto de la más alta calidad, siempre y cuando se realicen las pruebas pertinentes. Las aguas no potables, con impurezas excesivas en el agua, pueden no sólo afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad. Por consiguiente es necesario fijar ciertos límites para los contaminantes presentes en las aguas de mezclado y realizar ensayos para determinar el efecto que cada impureza provoca sobre cierta propiedad específica del concreto. Algunas impurezas pueden tener un efecto mínimo sobre la resistencia y el tiempo de fraguado del concreto, otras, no obstante, pueden disminuir la calidad del concreto considerablemente, según expone Steinerur (1990).

Las aguas no potables son aguas expuestas a contaminación, es decir, a la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos, como afirma Steinerur (1990).

### B. POZO ARTESIANO

Un pozo artesiano es un pozo perforado hasta un punto, generalmente a gran profundidad, en el que la presión del agua es tan grande que la hace

subir hasta la superficie. El nombre deriva del de la región francesa de Artois donde, en 1126, fue perforado el pozo más antiguo de Europa. Las aguas de pozo, pueden ser potables o no potables de acuerdo a su localización, expresa McCoy (1996).

La fuente esencial del agua de pozo es la lluvia. Cuando llueve en abundancia, el agua corre por arroyos, y cuando llueve con menos intensidad, se filtra en el suelo a través de los estratos porosos hasta encontrar un estrato impermeable en el que se acumula y forma depósitos subterráneos. La calidad del agua de estas fuentes varía considerablemente. Las aguas superficiales suelen ser más turbias y contener mayor cantidad de bacterias que las subterráneas, pero éstas tienen mayores concentraciones de productos químicos en disolución, citado por McCoy (1996).

## 1. PRINCIPALES CONTAMINANTES EN POZOS ARTESIANOS

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

- i. Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).
- ii. Agentes infecciosos. Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.
- iii. Productos químicos, incluso los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensioactivas contenidas en los detergentes y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.
- iv. Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales.

- v. Minerales inorgánicos y compuestos químicos (carbonatos, sulfatos, cloruros, ácidos y bases).
- vi. Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y las demoliciones urbanas.
- vii. Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.
- viii. El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen, según McCoy (1996).

## 2. FUENTES DE CONTAMINACION Y CONTROL

Las principales fuentes de contaminación acuática pueden clasificarse como urbanas, industriales y agrícolas, indica McCoy (1996).

### a. CONTAMINACION URBANA

La contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración. Los principales métodos de tratamiento de las aguas

residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodo biológicamente activo, que seguidamente es filtrado y el tratamiento terciario, en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno, y métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la absorción por carbono activado. La manipulación y eliminación de los residuos sólidos representa entre un 25 y un 50% del capital y los costes operativos de una planta depuradora, expone McCoy (1996).

#### b. CONTAMINACION INDUSTRIAL

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho tanto dentro como entre las empresas. El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido de sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Hay tres opciones (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí, donde se generan, dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más en corrientes o masas de agua, según afirma McCoy (1996).

#### c. CONTAMINACION AGRICOLA Y GANADERA

La agricultura, la ganadería comercial y las granjas avícolas son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y

nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido de nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno y, a menudo, albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aeróbicas o anaeróbicas y toda una serie de métodos adicionales, como cita McCoy (1996).

### C. ANALISIS TIPICOS DE AGUAS DE POZOS EN GUATEMALA

En la Tabla No. 2.3 se presentan seis análisis típicos de aguas de pozo en diversos sectores de la Ciudad de Guatemala.

Tabla No. 2.3: Análisis típicos de aguas de pozos en diversos sectores de la Ciudad de Guatemala.

PRODUCTOS QUÍMICOS	NUMERO DE ANÁLISIS					
	1	2	3	4	5	6
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	2.4	0.0	6.5	9.4	22.0	3.0
Hierro (Fe)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
Calcio (Ca)	5.8	15.3	29.5	96.0	3.0	1.3
Magnesio (Mg)	1.4	5.5	7.6	27.0	2.4	0.3
Sodio (Na)	1.7	16.1	2.3	183.0	215.0	1.4
Potasio (K)	0.7	0.0	1.6	18.0	9.8	0.2
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	14.0	35.8	122.0	334.0	549.0	4.1
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	9.7	59.9	5.3	121.0	11.0	2.6
Cloruro (Cl)	2.0	3.0	1.4	280.0	22.0	1.0
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	0.5	0.0	1.6	0.2	0.5	0.0
Sólidos disueltos totales	31.0	250.0	125.0	983.0	564.0	19.0

A continuación se presenta la descripción de los principales contaminantes encontrados en estos análisis:

## 1. CLORUROS

El Cloruro presente en el agua potable procede de fuentes naturales, de las aguas residuales y de los efluentes industriales. La principal fuente de exposición humana a este compuesto es el Cloruro de Sodio (llamado comúnmente sal) agregado a las comidas, cuya ingesta es por lo general mucho mayor que la procedente del agua potable, según Brown (1984).

La excesiva concentración de cloruro eleva la tasa de corrosión de los metales, en función de la alcalinidad del agua, indica Brown (1984).

No se propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el cloruro presente en agua potable. No obstante, concentraciones superiores a unos 250 mg/L pueden alterar el sabor del agua, señala Brown (1984).

## 2. CARBONATOS

Los Carbonatos son compuestos que contienen el ion carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$ . Pueden considerarse derivados del ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), que se forma al disolver dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en agua. Si los átomos de hidrógeno del ácido carbónico son reemplazados por átomos de un metal, se forma un carbonato inorgánico, por ejemplo el carbonato de sodio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Si los átomos de hidrógeno se sustituyen por radicales orgánicos, se forman carbonatos orgánicos, por ejemplo el carbonato de etilo,  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{CO}_3$ , según expresa Brown (1984).

En la naturaleza existen varios carbonatos inorgánicos en forma de minerales y menas importantes. Entre ellos están la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), la siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) y la smithsonita ( $\text{ZnCO}_3$ ). Como grupo, pueden ser reconocidos por su efervescencia al tratarlos con ácido clorhídrico. Todos estos carbonatos se descomponen con el calor, producen  $\text{CO}_2$  y generalmente el óxido sólido del metal, como cita Brown (1984).

Sólo los carbonatos de los metales alcalinos se disuelven fácilmente en agua y las disoluciones resultantes son alcalinas. Debido a su alcalinidad, las disoluciones de carbonato de sodio, sosa comercial, se usan como agentes limpiadores y para ablandar el agua, indica Brown (1984).

La sustitución de uno solo de los hidrógenos del ácido carbónico produce los hidrogenocarbonatos o bicarbonatos, que contienen el anión bicarbonato,  $\text{HCO}_3^-$ . Sólo los bicarbonatos de los metales alcalinos son lo bastante estables para poder aislarlos. Entre los bicarbonatos, el más conocido y más útil es el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) o bicarbonato de sosa, expresa Brown (1984).

### 3. SULFATOS

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en la industria química. Se descargan en el agua a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos, no obstante, las mayores concentraciones se dan, por lo común, en las aguas subterráneas y proceden de fuentes naturales, expone Brown (1984).

El sulfato es uno de los aniones menos tóxicos. Sin embargo, en grandes concentraciones se han observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal. La presencia de sulfato en el agua puede contribuir a la corrosión de metales, como afirma Brown (1984).

#### 4. ACIDOS Y BASES

Los ácidos y bases son dos tipos de compuestos químicos que presentan características opuestas. Los ácidos tienen un sabor agrio, colorean de rojo el tornasol (tinte rosa que se obtiene de determinados líquenes) y su reacción con ciertos metales es el desprendimiento de hidrógeno. Las bases tienen sabor amargo, colorean el tornasol de azul y tienen tacto jabonoso. Cuando se combina una disolución acuosa de un ácido con otra de una base, tiene lugar una reacción de neutralización, expresa Brown (1984).

#### 5. GRASAS Y ACEITES

Las grasas y aceites o triglicéridos son un grupo de compuestos orgánicos existentes en la naturaleza. Consisten en ésteres formados por tres moléculas de ácidos grasos y una molécula del alcohol glicerina. Son sustancias aceitosas, grasientas o cerosas, que en estado puro son normalmente incoloras, inodoras e insípidas. Las grasas y aceites son más ligeros que el agua e insolubles en ella, son poco solubles en alcohol y se disuelven fácilmente en éter y otros disolventes orgánicos. Las grasas son blandas y untuosas a temperaturas ordinarias, mientras que los aceites fijos, para distinguirlos de los aceites esenciales y el petróleo, son líquidos. Algunas ceras, sólidas y duras a temperaturas ordinarias, son químicamente similares a las grasas, según Brown (1984).

## 6. DIVERSAS SALES INORGÁNICAS

Entre las sales inorgánicas podemos citar: sales de magnesio, estaño, zinc, hierro, cobre y plomo, cita Brown (1984).

### D. RELACION AGUA CEMENTO

Para asegurar que las reacciones de fraguado continúen, a partir del endurecimiento inicial del hormigón, que normalmente se produce en las primeras doce horas después del mezclado, se requiere dotar continuamente de agua de curado al hormigón. Esto sirve para reponer el agua de amasado evaporada por el calor emanado como producto de las reacciones químicas. El agua de curado usualmente se proporciona al humedecer la superficie de los elementos de hormigón, expresa Steinatorur (1990).

La propiedad de diseño más importante del hormigón constituye su resistencia; la propiedad constructiva más importante es su trabajabilidad. Usualmente estas dos propiedades son mutuamente conflictivas durante la construcción, según afirma Steinatorur (1990).

En general una relación agua cemento (ac) baja, medida al peso, que mantenga una adecuada trabajabilidad en el hormigón fresco, conduce a hormigones de mayor resistencia y mejor calidad. Se requiere aproximadamente una relación ac mínima de 0.25 para que todo el cemento presente en la mezcla reaccione químicamente con el agua y forme pequeños puentes cristalizados entre las superficies de las partículas de áridos. Estos cristales son los responsables de la cohesividad entre las partículas y de la resistencia del hormigón en general, indica Steinatorur (1990).

Cualquier exceso de agua durante el amasado, por encima de la relación a/c de 0.25, se convertirá, luego del fraguado inicial, en espacios vacíos por la evaporación del agua (o espacios con agua que no alcanza a escapar de los poros luego del fraguado) que disminuyen considerablemente la resistencia del hormigón y también provocará que los puentes cristalizados tengan mayor longitud y sean menos resistentes, expresa Steinerur (1990).

Lamentablemente una relación a/c cercana a 0.25 (que en teoría nos proporcionaría la mayor resistencia), no puede ser conseguida en un hormigón normal, pues la disminución de agua de amasado provoca una pérdida importante de trabajabilidad e inclusive puede llegar a imposibilitar la consecución de una mezcla apropiada. Para asegurar una mezcla homogénea y una trabajabilidad razonable en un hormigón normal (sin aditivos) serán necesarias relaciones ac mínimas del orden de 0.60, según Steinerur (1990).

La falta de agua de curado durante el fraguado del hormigón (particularmente en los primeros días en que las reacciones son más intensas) tiene efectos adversos sobre la resistencia final del hormigón, pues provoca que las partículas de cemento no reaccionen totalmente y da lugar a pocos cristales de unión entre partículas de áridos, con lo que disminuye la cohesión, desde el punto de vista de Steinerur (1990).

## CAPITULO III

### JUSTIFICACIÓN

Actualmente, el alto índice poblacional en Guatemala, ha provocado la expansión del límite urbano y ha obligado a la rápida urbanización de zonas rurales aledañas a la Ciudad Capital. Entre las regiones en vías rápidas de crecimiento poblacional y de urbanización se encuentra el Departamento de Sacatepéquez, en el que destacan los municipios de San Lucas, San Juan y La Antigua, regiones en las cuales se enfoca este estudio, por su gran movimiento comercial, industrial y turístico y los efectos que estas actividades provocan en el sector en cuanto a contaminación de aguas.

Si se considera que más del 80% de las edificaciones en el Departamento de Sacatepéquez son estructuras de concreto, en la mayoría de casos construidas con técnicas y procedimientos empíricos, crece el interés de evaluar las aguas encontradas en pozos perforados a lo largo de estas regiones. Su fin es establecer mediante análisis químico los parámetros permisibles de contaminantes en dichas aguas para la producción de concreto de albañilería de óptima calidad, que no altere sus propiedades físicas, ni químicas. Esto con la finalidad de incluir un punto no considerado frecuentemente, como lo es la importancia de una adecuada selección del agua en mezclas de concreto, que incide directamente en la calidad de la materia prima utilizada en industrias, comercios y en proyectos habitacionales, construidos para ser habitados por los humanos y que deben cumplir "siempre" con los mejores estándares de calidad.

## CAPITULO IV

### OBJETIVOS

#### A. OBJETIVOS GENERALES

1. Elaborar un manual de aguas de pozo adecuadas para la producción de concreto de albañilería de óptima calidad para el Departamento de Sacatepéquez, que incida en la calidad de la obra de tipo civil construida a partir de él.

#### B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Brindar soluciones prácticas al usuario pobremente calificado en las ciencias químicas, en caso que necesite tratar aguas de pozo altamente contaminadas, para utilizarlas en mezclas de concreto de albañilería.
2. Proporcionar una guía de las aguas de mezclado no aptas para la producción de concreto de albañilería, óptimo para la construcción de edificaciones civiles, al albañil pobremente calificado en el análisis de estructuras de concreto.
3. Establecer si el grado de contaminación de las aguas de pozo en los municipios de San Lucas, La Antigua y San Juan Sacatepéquez altera las propiedades físicas y químicas del concreto de albañilería, al utilizarlas como aguas de mezclado en la preparación de concreto de albañilería y si afectaría directamente la calidad de obra civil construida para uso humano.

## CAPITULO V

### PROBLEMA A RESOLVER

Los municipios de San Lucas, Antigua y San Juan Sacatepéquez, son regiones de gran actividad industrial, comercial y agrícola. Estas actividades económicas producen contaminación directa o indirecta de los suelos y aguas subterráneas del lugar, incluso las aguas de pozos que abastecen a más del 70% de los habitantes de la región, que aún no tienen acceso a agua potable.

Estos pozos contaminados son también el único abastecimiento de agua para los artesanos y albañiles del lugar. Las mezclas de concreto para fines de construcción son preparadas a partir de aguas contaminadas, que alteran posiblemente su calidad tanto física como química. Esta situación es un riesgo latente para los habitantes de dichas obras civiles, pues no cuentan con garantía alguna de que la construcción donde viven o trabajan pueda derrumbarse, agrietarse o desmoronarse parcial o totalmente y ponga en riesgo la vida de seres humanos.

## CAPITULO VI

### METODOLOGIA

#### A. MUESTREO DE AGUAS

Se tomarán muestras de 3 pozos seleccionados al azar, localizados en los municipios de San Lucas, La Antigua y San Juan Sacatepéquez.

#### B. ANALISIS DE AGUAS

Se enviarán las muestras tomadas a un laboratorio químico para un análisis preciso de contaminantes orgánicos e inorgánicos en ellas. Para el análisis se empleará el método de cromatografía líquida en columna empacada, el cual facilita la determinación de concentraciones de contaminantes químicos en las muestras de agua. Cada contaminante se analiza por separado.

#### C. PREPARACION DE MEZCLAS DE CONCRETO PARA SU EVALUACIÓN

Debido a que la resistencia a la compresión del concreto premezclado solamente podrá ser juzgada tomando como base el uso de probetas en forma de cilindros de 15 x 30 cm.; se prepararán 10 cilindros por cada muestra de agua con estas especificaciones.

Su composición exacta será:

- i. 15% de cemento gris tipo Portland 4000 PSI
- ii. 21% de agua
- iii. 64% de agregados:
  - a. 32% arena de río
  - b. 32% piedrín de 1/2"

Según la Norma ASTM C-161 "Composición Estándar del Concreto de Albañilería".

Dicho procedimiento se realizará en el laboratorio en condiciones ambientales y las mediciones se realizarán con instrumentos previamente calibrados. Se considerará adecuado el volumen de concreto representado por la muestra, si tiene una temperatura de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  del valor especificado, según la Norma ASTM C-97 Muestreo de Concreto Fresco".

#### D. REGISTRO Y CONTROL DE LAS MUESTRAS

Se llevará un detalle escrito de producción, protección y evaluación de las muestras de prueba, incluso las muestras que se desechan por manejo inadecuado. Se anotarán las observaciones relevantes de los cilindros de prueba tales como despostillamiento, falta de humedad, y características físicas (color, textura, etc.) a los 7, 14 y 28 días posteriores a su preparación.

Se llevará un registro de control de todas las muestras elaboradas. Cada muestra será identificada mediante la asignación de un número único. La identificación de la muestra corresponderá al lugar y elementos colados del concreto que represente.

#### E. PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Se realizará dicha prueba a cada cilindro de control a los 14 y 28 días. Se utilizará un equipo de Marca SOILTEST, de 60 ciclos, que trabaja simultáneamente con escalas de 5,000 y 30,000 libras (2272.72 y 13636.36 Kg). Generalmente necesita 28 días para alcanzar la resistencia normal y 14 días para los concretos de resistencia rápida, según la Norma ASTM C-83 "Determinación de la Resistencia a la compresión de Cilindros de Concreto".

CAPITULO VII  
RESULTADOS

Tabla No. 4: Análisis estadístico de concentración de  $\text{SiO}_2$  en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	3.25	3.81	4.23	150.00
2		2	3.50	4.12	4.00	150.00
3		3	3.40	4.25	4.10	150.00
4	2	1	3.30	4.20	3.75	150.00
5		2	3.70	4.56	3.89	150.00
6		3	3.90	4.32	3.70	150.00
7	3	1	4.75	3.77	4.11	150.00
8		2	4.23	3.60	4.15	150.00
9		3	4.54	4.83	4.20	150.00
desviación estándar:			0.55	0.39	0.19	--
número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			0.42	0.91	0.45	--
media:			3.84	4.16	4.01	--
límite superior:			<b>4.27</b>	<b>5.07</b>	<b>4.46</b>	<b>150.00</b>
límite inferior:			3.42	3.26	3.57	--

Grafica No. 2: Concentración de  $\text{SiO}_2$  (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

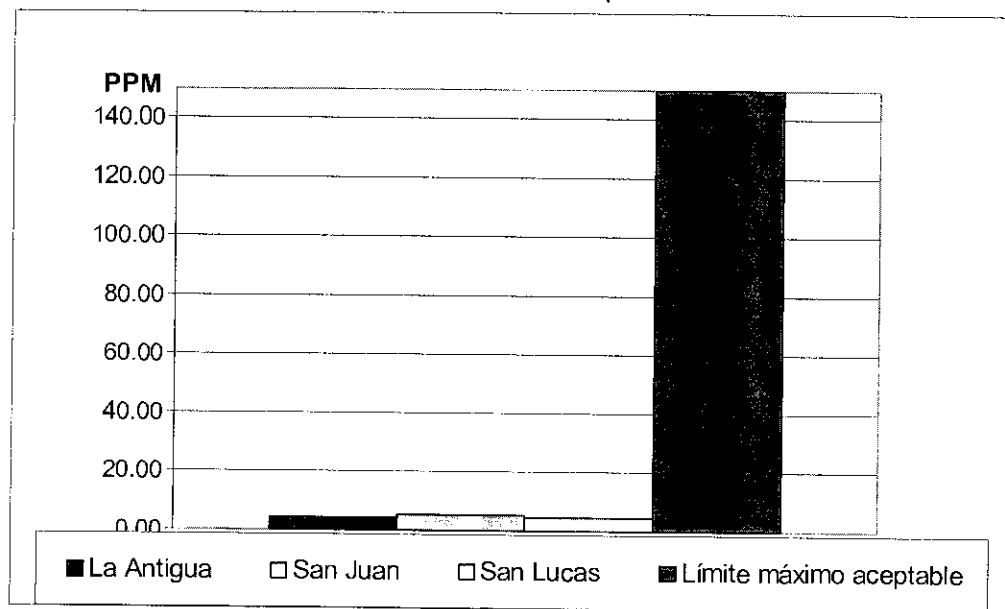


Tabla No. 5: Análisis estadístico de concentración de Fe en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua Ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	10.00	15.00	20.00	400.00
2		2	10.50	10.00	9.00	400.00
3		3	10.20	10.00	10.00	400.00
4	2	1	20.00	15.00	13.00	400.00
5		2	20.00	20.00	20.00	400.00
6		3	23.00	21.50	20.00	400.00
7	3	1	20.00	22.00	15.00	400.00
8		2	19.00	20.00	13.00	400.00
9		3	18.30	20.00	15.00	400.00
desviación estándar:			5.07	4.72	4.24	--
Número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
Grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
Intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			3.90	10.88	9.78	--
media:			16.78	17.06	15.00	--
<b>Límite superior:</b>			<b>20.68</b>	<b>27.94</b>	<b>24.78</b>	<b>400.00</b>
límite inferior:			12.88	6.17	5.22	--

Grafica No. 3: Concentración de Fe (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

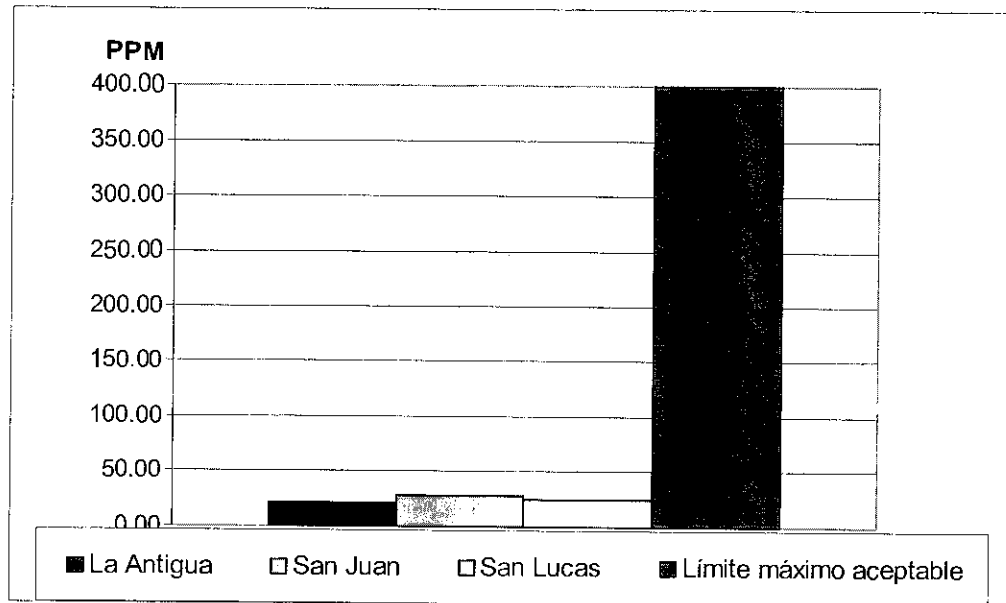


Tabla No. 6: Análisis estadístico de concentración de Ca en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	29.50	96.00	55.00	400.00
2		2	30.00	95.40	55.10	400.00
3		3	29.70	96.00	56.70	400.00
4	2	1	35.00	93.20	55.00	400.00
5		2	33.40	93.00	55.20	400.00
6		3	34.90	93.40	55.35	400.00
7	3	1	32.10	92.10	56.00	400.00
8		2	31.90	93.00	56.10	400.00
9		3	33.00	94.50	56.00	400.00
desviación estándar:			2.11	1.45	0.61	--
Número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			1.62	3.34	1.41	--
media:			32.17	94.07	55.61	--
<b>límite superior:</b>			<b>33.79</b>	<b>97.41</b>	<b>57.01</b>	<b>400.00</b>
límite inferior:			30.54	90.73	54.20	--

Grafica No. 4: Concentración de Ca (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

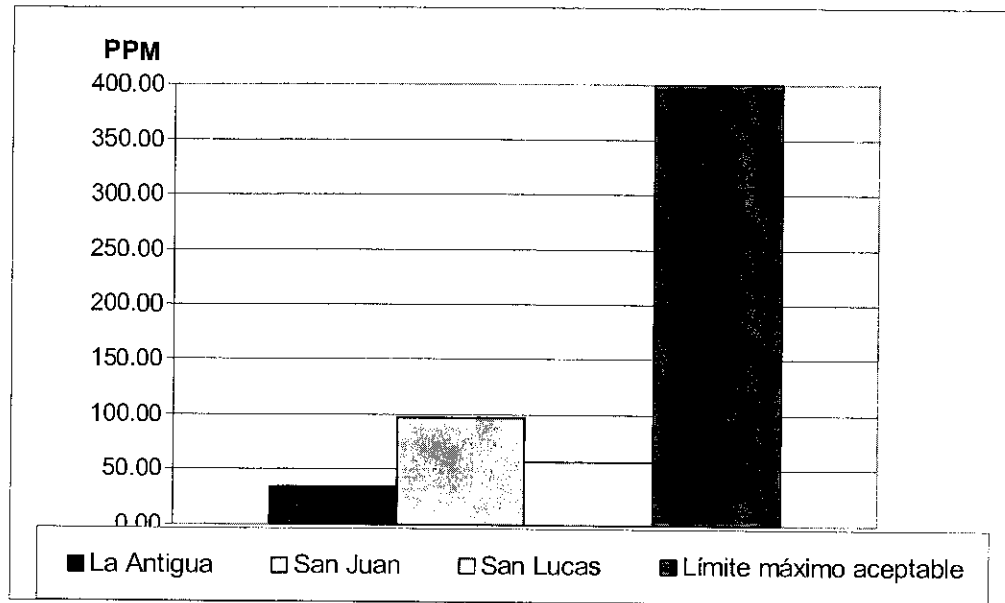


Tabla No. 7: Análisis estadístico de concentración de Mg en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	7.80	15.00	10.10	500.00
2		2	7.30	15.45	10.20	500.00
3		3	6.90	14.97	10.00	500.00
4	2	1	7.00	14.80	10.00	500.00
5		2	7.00	15.00	10.34	500.00
6		3	6.50	15.00	10.45	500.00
7	3	1	6.80	15.00	10.32	500.00
8		2	7.00	14.56	10.00	500.00
9		3	6.90	14.34	10.00	500.00
desviación estándar:			0.36	0.31	0.18	--
número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			0.28	0.72	0.41	--
media:			7.02	14.90	10.16	--
<b>límite superior:</b>			<b>7.30</b>	<b>15.63</b>	<b>10.56</b>	<b>500.00</b>
límite inferior:			6.75	14.18	9.75	--

Grafica No. 5: Concentración de Mg (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

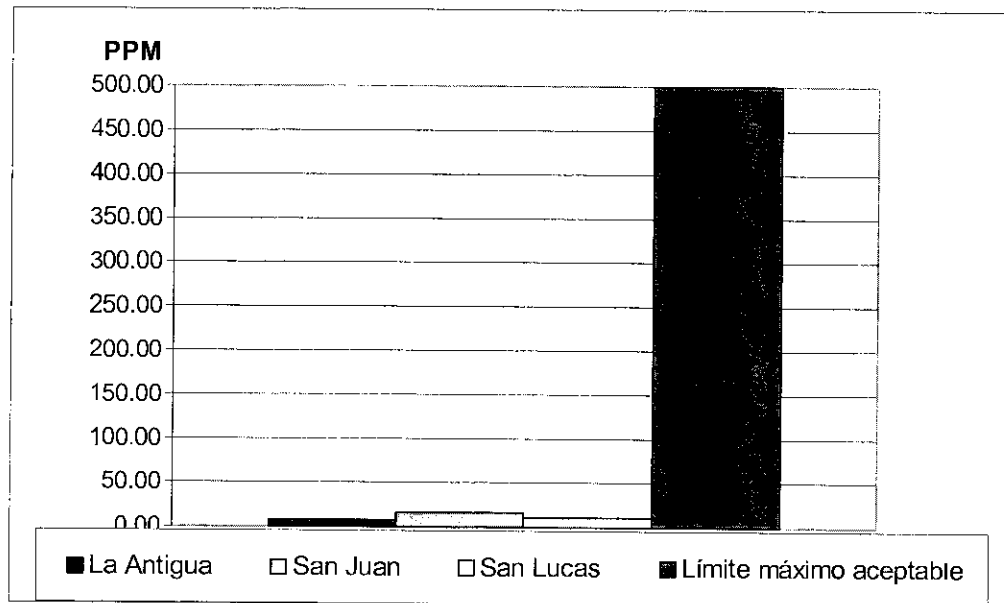


Tabla No. 8: Análisis estadístico de concentración de Na en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	35.00	56.00	45.00	100.00
2		2	34.70	54.50	44.90	100.00
3		3	34.30	55.60	44.90	100.00
4	2	1	34.45	56.00	45.00	100.00
5		2	34.56	56.00	45.00	100.00
6		3	34.67	55.90	44.87	100.00
7	3	1	34.23	54.78	44.67	100.00
8		2	34.98	54.23	45.00	100.00
9		3	34.80	54.40	43.20	100.00
desviación estándar:			0.27	0.77	0.58	--
Número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
Grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
Intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			0.21	1.78	1.34	--
media:			34.63	55.27	44.73	--
<b>Límite superior:</b>			<b>34.84</b>	<b>57.05</b>	<b>46.07</b>	<b>100.00</b>
límite inferior:			34.42	53.49	43.38	--

Grafica No. 6: Concentración de Na (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

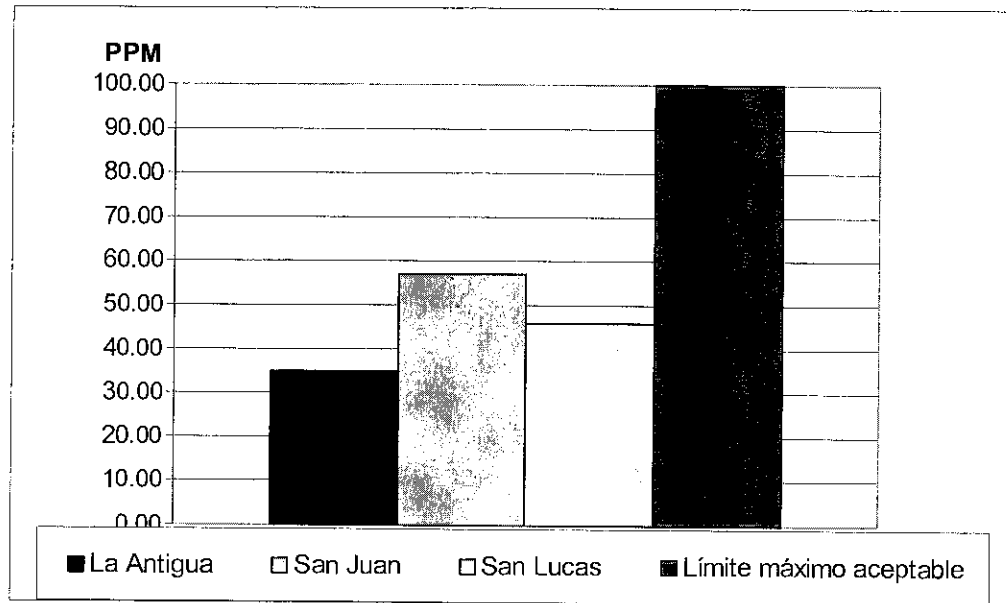


Tabla No. 9: Análisis estadístico de concentración de K en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	18.00	23.40	20.10	100.00
2		2	17.60	23.00	20.00	100.00
3		3	18.30	23.00	21.80	100.00
4	2	1	18.00	23.90	21.78	100.00
5		2	18.00	23.89	21.00	100.00
6		3	17.90	23.98	21.00	100.00
7	3	1	17.78	23.00	21.50	100.00
8		2	18.23	23.70	21.34	100.00
9		3	18.11	23.00	21.00	100.00
desviación estándar:			0.22	0.44	0.65	--
Número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			0.17	1.01	1.50	--
media:			17.99	23.43	21.06	--
<b>límite superior:</b>			<b>18.16</b>	<b>24.44</b>	<b>22.56</b>	<b>100.00</b>
límite inferior:			17.83	22.42	19.56	--

Grafica No. 7: Concentración de K (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

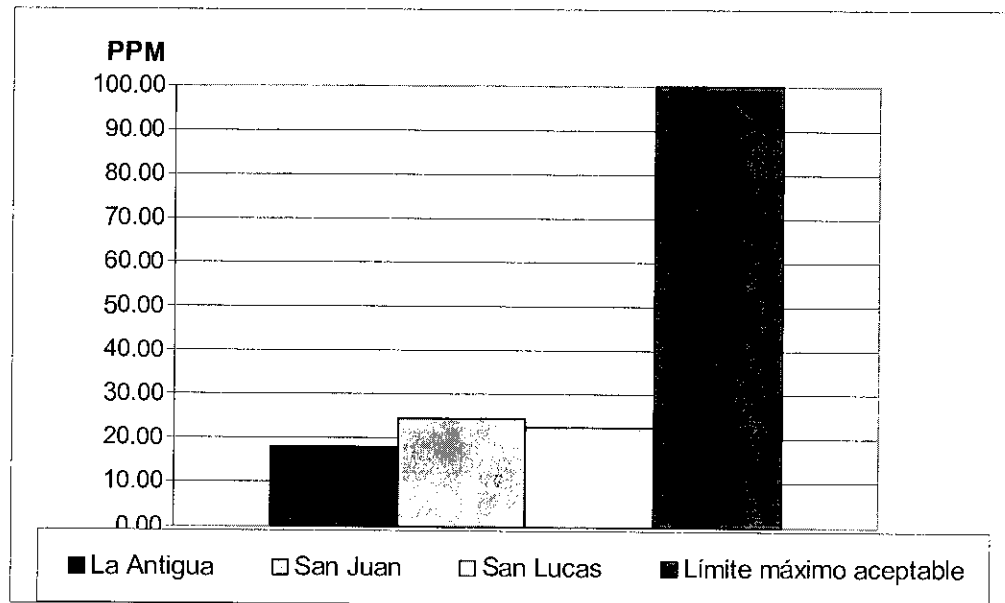


Tabla No. 10: Análisis estadístico de concentración de  $\text{HCO}_3$  en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	125.40	250.00	170.30	400.00
2		2	125.00	249.80	170.34	400.00
3		3	125.67	249.00	170.45	400.00
4	2	1	124.90	248.70	170.50	400.00
5		2	124.89	248.00	170.00	400.00
6		3	125.00	250.00	170.00	400.00
7	3	1	124.78	248.70	169.00	400.00
8		2	124.54	249.00	169.40	400.00
9		3	124.90	249.00	169.23	400.00
desviación estándar:			0.34	0.68	0.56	--
Número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
Intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			0.26	1.56	1.30	--
media:			125.01	249.13	169.91	--
<b>límite superior:</b>			<b>125.27</b>	<b>250.69</b>	<b>171.21</b>	<b>400.00</b>
límite inferior:			124.75	247.57	168.61	--

Grafica No. 8: Concentración de  $\text{HCO}_3$  (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

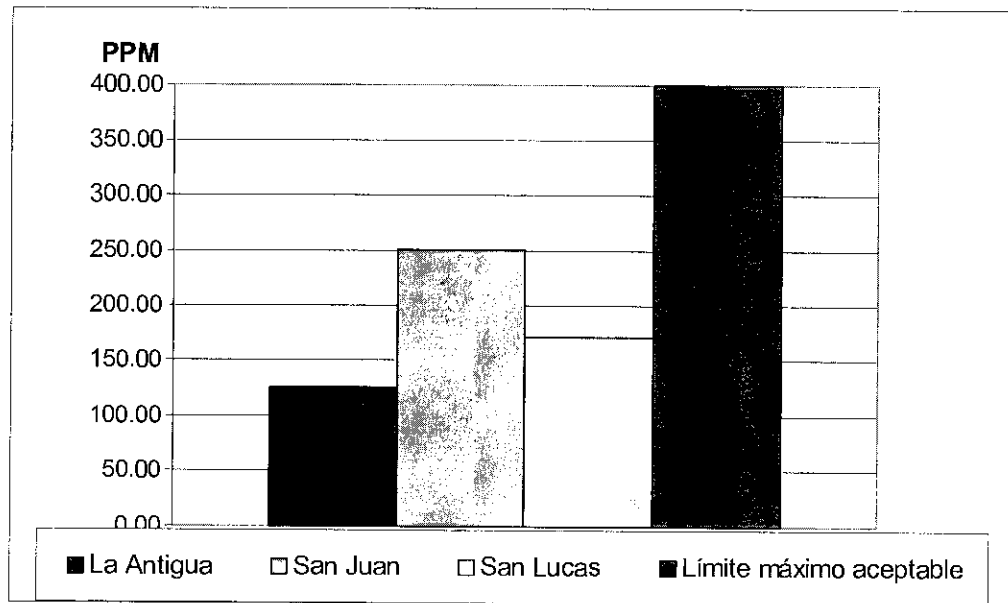


Tabla No. 11: Análisis estadístico de concentración de SO<sub>4</sub> en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	59.90	101.20	89.70	3,000.00
2		2	59.23	100.90	89.76	3,000.00
3		3	59.76	100.98	89.34	3,000.00
4	2	1	59.00	101.20	89.00	3,000.00
5		2	58.00	100.00	89.00	3,000.00
6		3	59.50	100.56	88.67	3,000.00
7	3	1	59.00	101.45	89.60	3,000.00
8		2	59.89	101.99	88.50	3,000.00
9		3	59.30	101.34	88.69	3,000.00
desviación estándar:			0.60	0.56	0.48	--
Número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
Intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			0.46	1.30	1.10	--
media:			59.29	101.07	89.14	--
<b>límite superior:</b>			<b>59.74</b>	<b>102.37</b>	<b>90.24</b>	<b>3,000.00</b>
límite inferior:			58.83	99.77	88.04	--

Grafica No. 9: Concentración de SO<sub>4</sub> (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

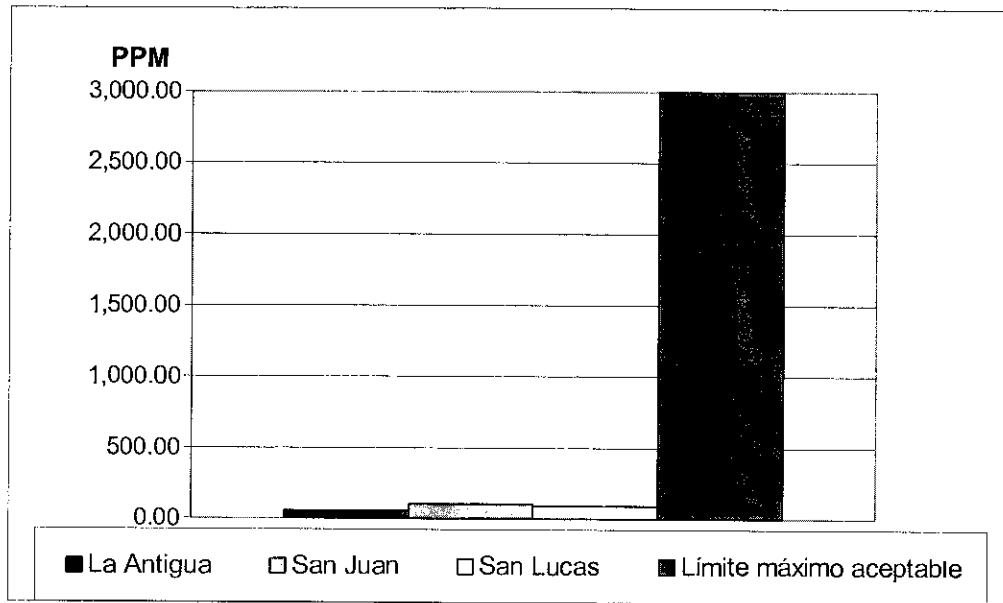


Tabla No. 12: Análisis estadístico de concentración de Cl en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	22.00	95.60	78.90	20,000.00
2		2	22.10	95.00	78.70	20,000.00
3		3	21.90	95.00	78.00	20,000.00
4	2	1	23.40	96.00	78.00	20,000.00
5		2	22.90	96.10	78.56	20,000.00
6		3	23.00	96.00	78.54	20,000.00
7	3	1	21.90	95.40	78.90	20,000.00
8		2	21.00	95.30	78.95	20,000.00
9		3	21.89	95.67	78.00	20,000.00
desviación estándar:			0.74	0.42	0.41	--
Número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
Grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
Intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			0.57	0.97	0.94	--
media:			22.23	95.56	78.51	--
<b>Límite superior:</b>			<b>22.80</b>	<b>96.53</b>	<b>79.44</b>	<b>20,000.00</b>
límite inferior:			21.67	94.59	77.57	--

Grafica No. 10: Concentración de Cl (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

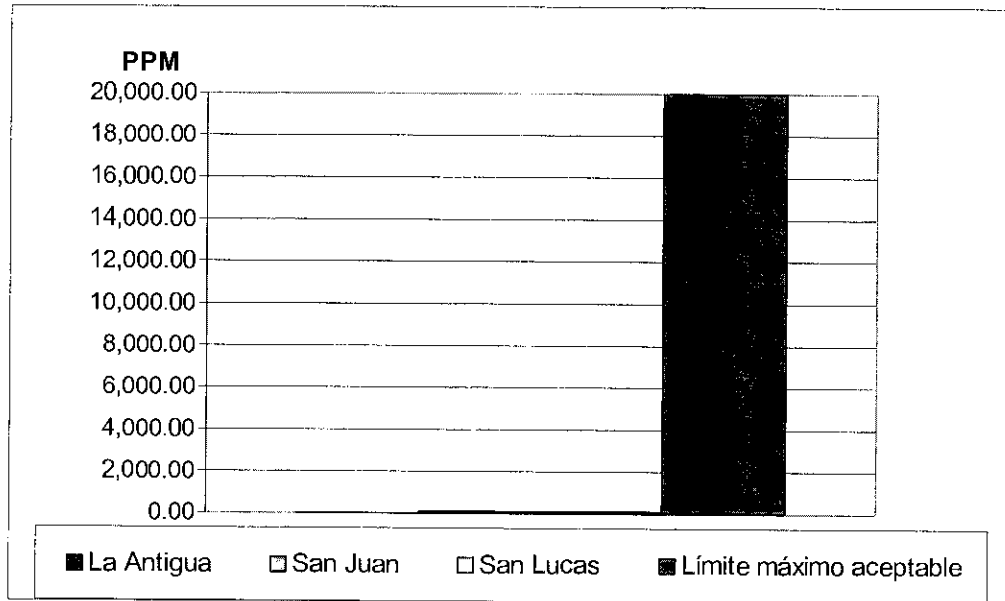


Tabla No. 13: Análisis estadístico de concentración de  $\text{NO}_3$  en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan ppm	San Lucas ppm	V. Teórico ppm
1	1	1	16.80	22.50	18.70	250.00
2		2	16.00	22.45	18.30	250.00
3		3	16.00	22.65	18.45	250.00
4	2	1	16.90	22.00	18.54	250.00
5		2	16.87	22.00	18.34	250.00
6		3	16.80	22.89	18.79	250.00
7	3	1	16.00	22.10	18.56	250.00
8		2	16.90	22.45	18.00	250.00
9		3	16.00	22.00	18.98	250.00
desviación estándar:			0.45	0.33	0.29	--
número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			0.35	0.75	0.67	--
media:			16.47	22.34	18.52	--
<b>límite superior:</b>			<b>16.82</b>	<b>23.09</b>	<b>19.19</b>	<b>250.00</b>
Límite inferior:			16.13	21.58	17.85	--

Grafica No. 11: Concentración de  $\text{NO}_3$  (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

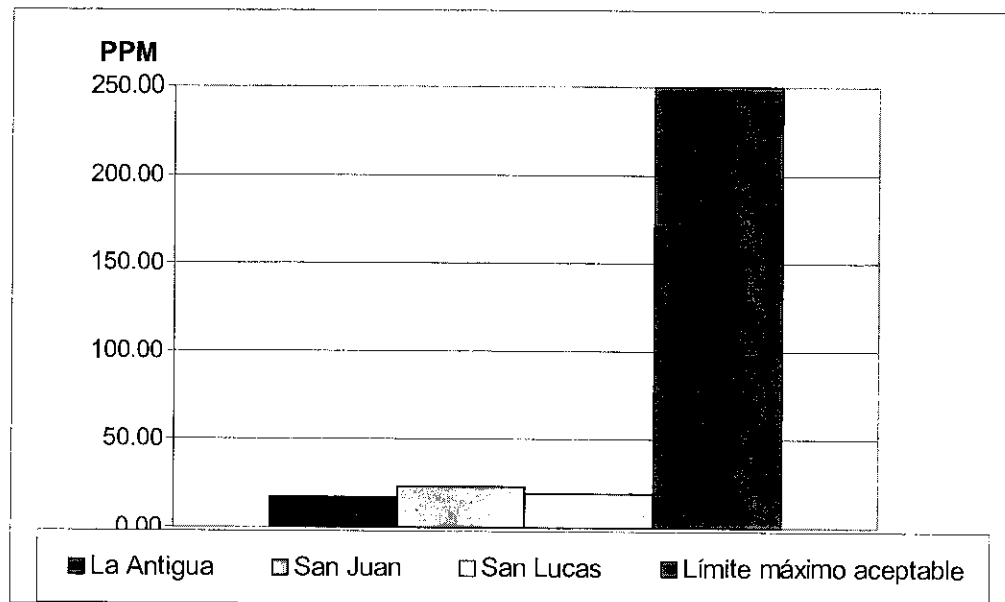


Tabla No. 14: Análisis estadístico de concentración de sólidos disueltos en agua de pozos de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez.

No.	Pozo	Muestra	La Antigua ppm	San Juan Ppm	San Lucas ppm	V. Teórico Ppm
1	1	1	983.00	1,256.00	1,000.00	50,000.00
2		2	980.00	1,250.00	1,004.00	50,000.00
3		3	982.90	1,256.60	1,010.00	50,000.00
4	2	1	975.00	1,300.00	1,009.87	50,000.00
5		2	978.00	1,289.00	1,000.00	50,000.00
6		3	978.90	1,290.00	1,078.98	50,000.00
7	3	1	980.00	1,295.00	1,089.80	50,000.00
8		2	982.00	1,299.00	1,006.73	50,000.00
9		3	983.00	1,297.00	1,005.34	50,000.00
desviación estándar:			2.73	20.80	35.24	--
número de muestras:			9.00	9.00	9.00	--
grados de libertad:			8.00	8.00	8.00	--
intervalo de confianza:			95%	95%	95%	--
valor t:			2.31	2.31	2.31	--
error:			2.10	47.97	81.25	--
media:			980.31	1,281.40	1,022.75	--
<b>límite superior:</b>			<b>982.41</b>	<b>1,329.37</b>	<b>1,104.00</b>	<b>50,000.00</b>
Límite inferior:			978.21	1,233.43	941.49	--

Grafica No. 12: Concentración de sólidos disueltos (ppm) en muestras de agua analizadas en La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez y concentración máxima permisible para la producción de concreto de optima calidad.

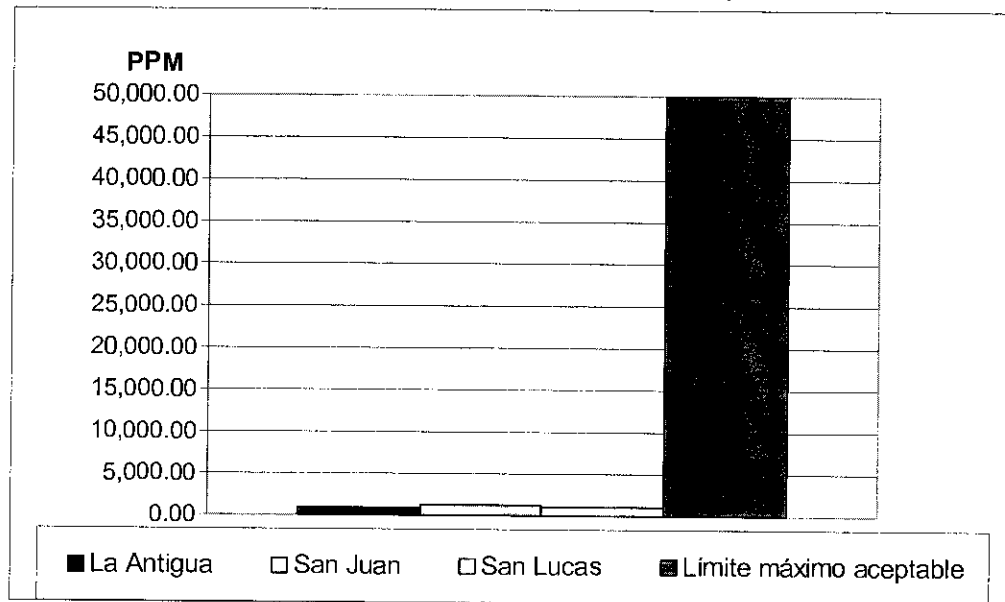
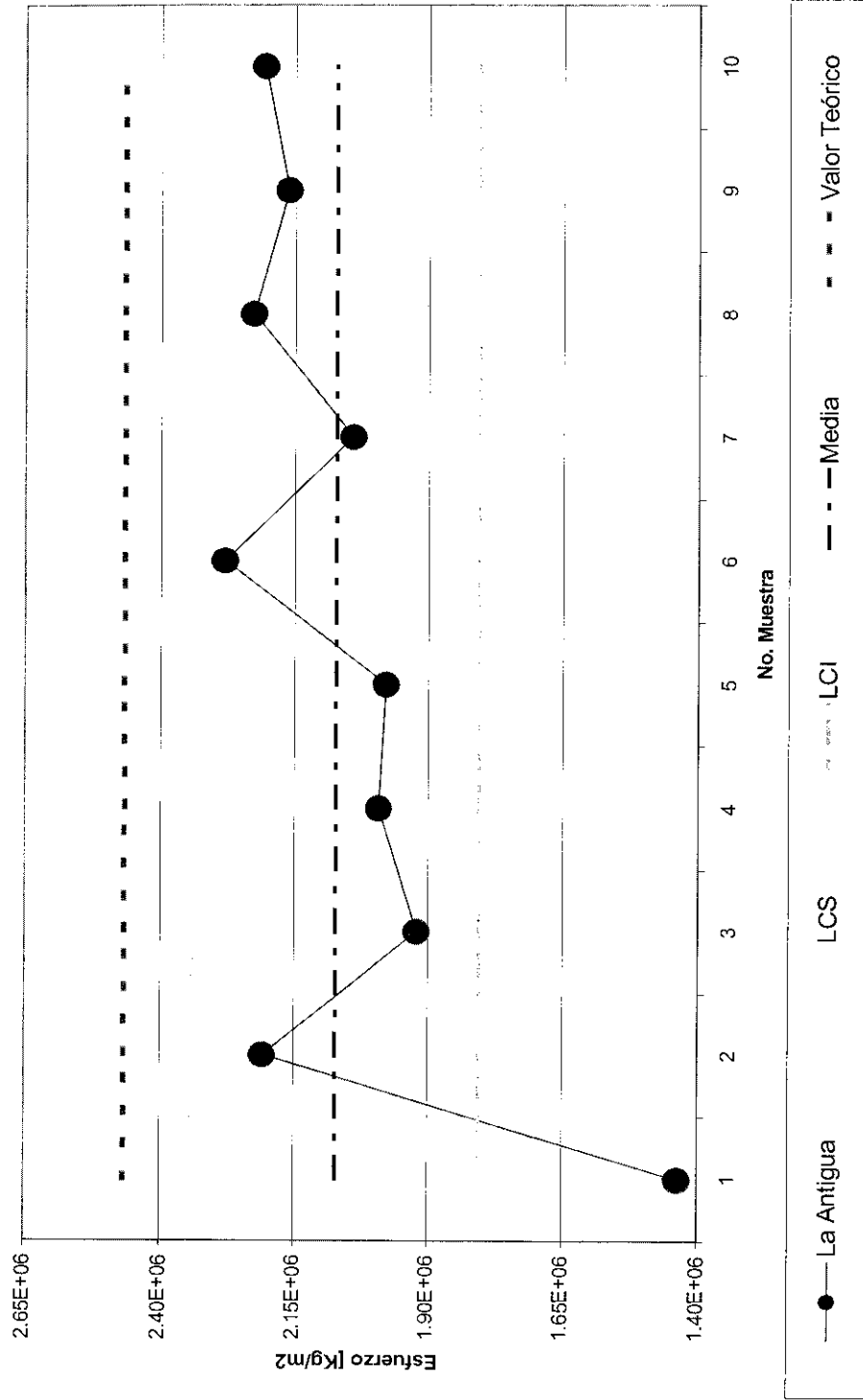


Tabla No. 15: Datos de las muestras de concreto a los 28 días.

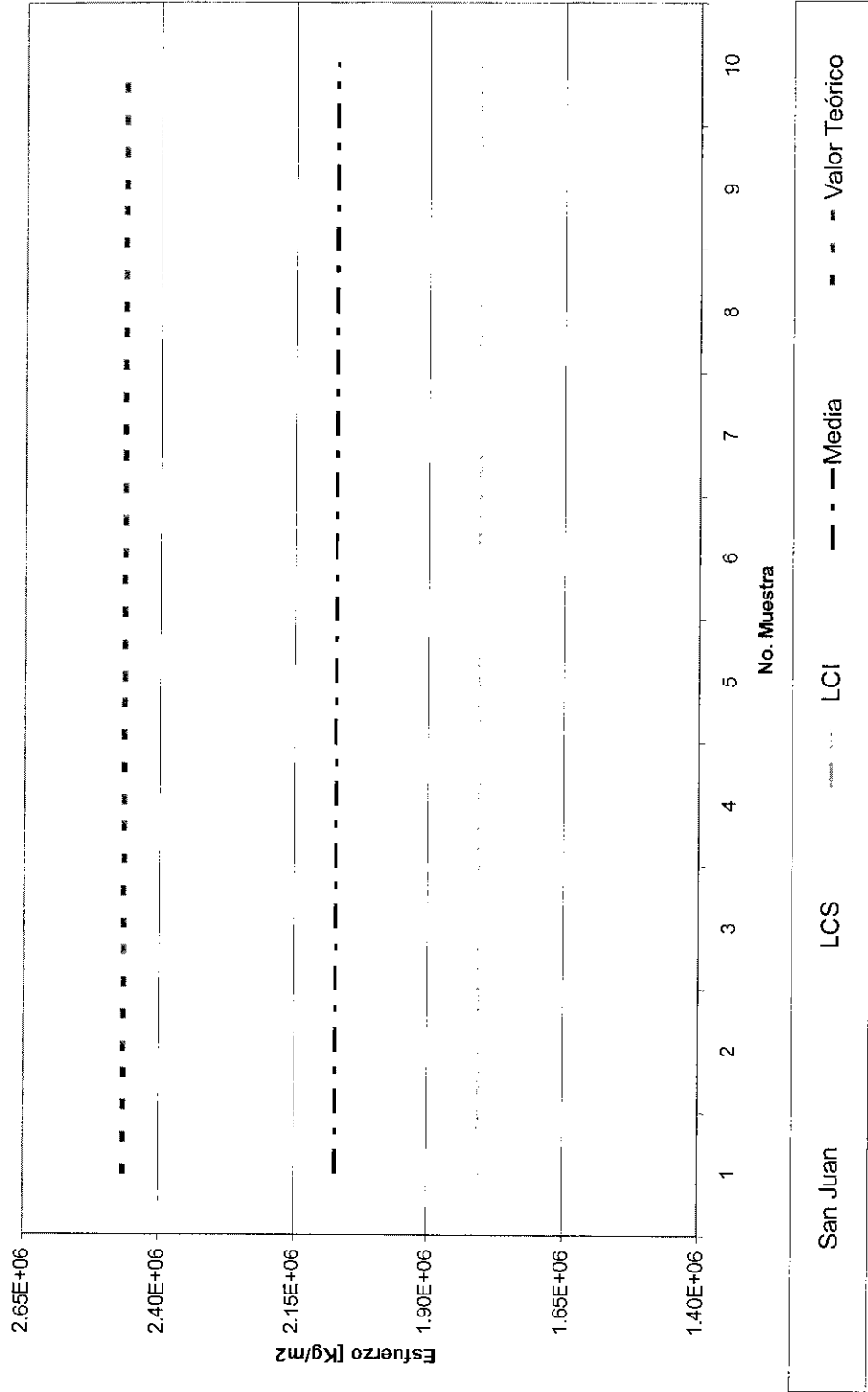
LUGAR	No.	HECHURA	RUPTURA	EDAD	PESO [Kg]	DIÁMETRO [m]	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	CARGA [Kg]	ESFUERZO [Kg/m <sup>2</sup> ]	V. TEÓRICO [Kg/m <sup>2</sup> ]	PORCENTAJE DE ERROR	MEDIA % ERROR
La Antigua	1	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.95	0.15	0.02	25,400.00	1,437,342.61	2,465,914.02	41.71%	17.04%
	2	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.12	0.15	0.02	38,000.00	2,208,865.48	2,465,914.02	10.42%	
	3	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.01	0.15	0.02	34,400.00	1,920,939.34	2,465,914.02	22.10%	
	4	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.60	0.15	0.02	35,200.00	1,991,907.87	2,465,914.02	19.22%	
	5	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	11.98	0.15	0.02	34,500.00	1,978,589.32	2,465,914.02	19.76%	
	6	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	11.75	0.15	0.02	38,700.00	2,280,265.41	2,465,914.02	7.53%	
	7	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.99	0.15	0.02	35,600.00	2,041,674.78	2,465,914.02	17.20%	
	8	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.85	0.15	0.02	39,900.00	2,228,066.27	2,465,914.02	9.65%	
	9	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	11.79	0.15	0.02	37,700.00	2,162,110.65	2,465,914.02	12.32%	
	10	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	11.82	0.15	0.02	39,000.00	2,206,943.38	2,465,914.02	10.50%	
LUGAR	No.	HECHURA	RUPTURA	EDAD	PESO [Kg]	DIÁMETRO [m]	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	CARGA [Kg]	ESFUERZO [Kg/m <sup>2</sup> ]	V. TEÓRICO [Kg/m <sup>2</sup> ]	PORCENTAJE DE ERROR	MEDIA % ERROR
San Juan	1	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	13.02	0.15	0.02	33,600.00	1,901,366.61	2,465,914.02	22.89%	15.64%
	2	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.54	0.15	0.02	38,500.00	2,237,929.50	2,465,914.02	9.25%	
	3	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.57	0.15	0.02	34,500.00	1,926,523.47	2,465,914.02	21.87%	
	4	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.02	0.15	0.02	33,100.00	1,873,072.46	2,465,914.02	24.04%	
	5	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.05	0.15	0.02	37,500.00	2,150,640.57	2,465,914.02	12.79%	
	6	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.45	0.15	0.02	34,700.00	2,044,579.06	2,465,914.02	17.09%	
	7	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	11.93	0.15	0.02	40,800.00	2,339,896.94	2,465,914.02	5.11%	
	8	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.87	0.15	0.02	39,900.00	2,228,066.27	2,465,914.02	9.65%	
	9	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.48	0.15	0.02	34,800.00	1,995,794.45	2,465,914.02	19.06%	
	10	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.35	0.15	0.02	37,200.00	2,105,084.46	2,465,914.02	14.63%	

LUGAR	No.	HECHURA	RUPTURA	EDAD	PESO [Kg]	DIÁMETRO [m]	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	CARGA [Kg]	ESFUERZO [Kg/m <sup>2</sup> ]	V. TEÓRICO [Kg/m <sup>2</sup> ]	PORCENTAJE DE ERROR	MEDIA % ERROR
San Lucas	1	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.48	0.15	0.02	35,300.00	1,997,566.70	2,465,914.02	18.99%	15.14%
	2	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.78	0.15	0.02	32,100.00	1,865,910.05	2,465,914.02	24.33%	
	3	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	11.69	0.15	0.02	33,500.00	1,870,682.21	2,465,914.02	24.14%	
	4	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.60	0.15	0.02	39,300.00	2,223,919.87	2,465,914.02	9.81%	
	5	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.45	0.15	0.02	41,000.00	2,351,367.02	2,465,914.02	4.65%	
	6	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.54	0.15	0.02	35,000.00	2,062,255.54	2,465,914.02	16.37%	
	7	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	11.85	0.15	0.02	38,400.00	2,202,255.94	2,465,914.02	10.69%	
	8	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.23	0.15	0.02	36,200.00	2,021,453.61	2,465,914.02	18.02%	
	9	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	12.94	0.15	0.02	40,100.00	2,299,751.65	2,465,914.02	6.74%	
	10	20-Feb-02	20-Mar-02	28 días	11.98	0.15	0.02	35,900.00	2,031,519.68	2,465,914.02	17.62%	

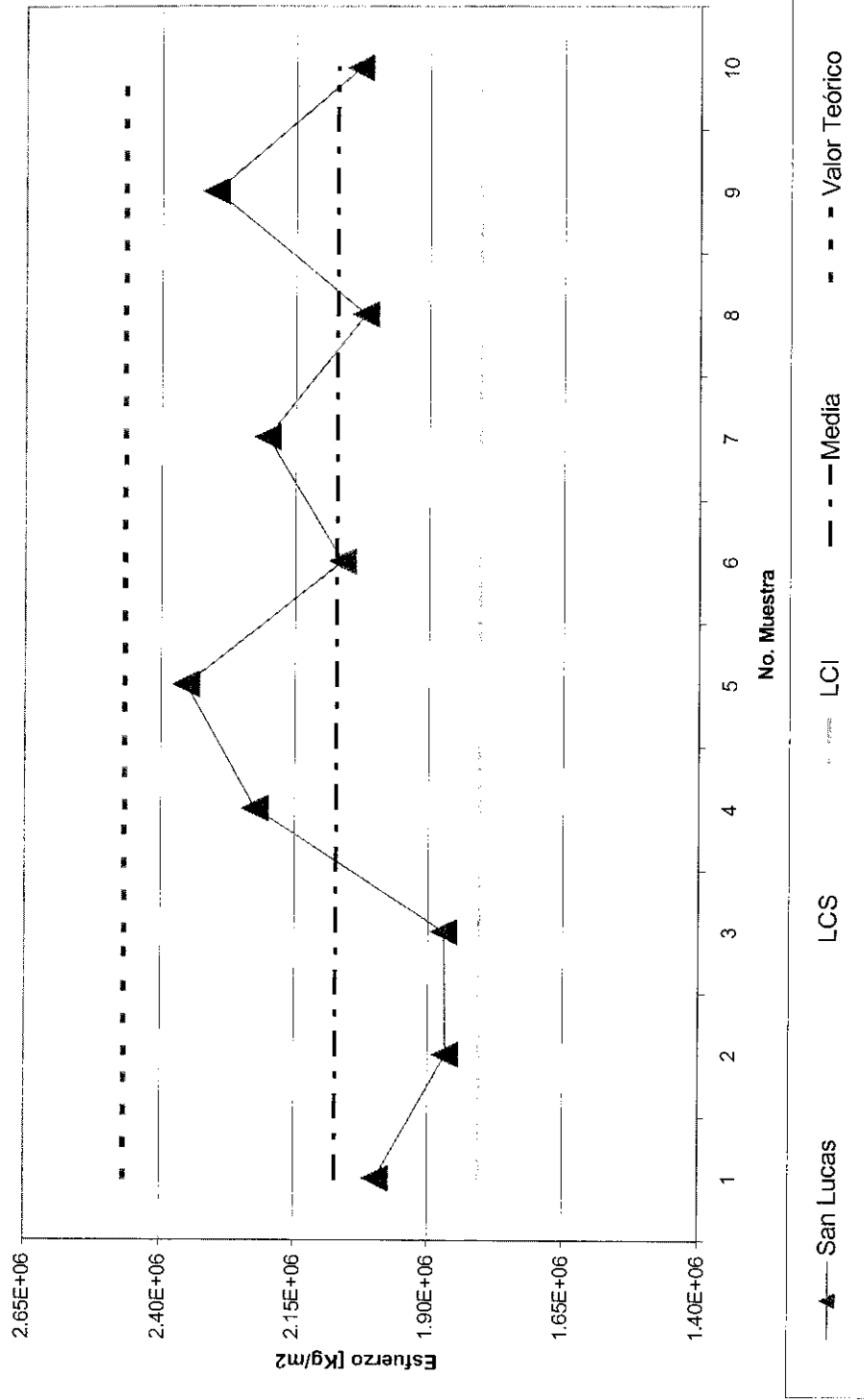
Gráfica No. 12: Análisis estadístico de los esfuerzos a compresión para muestras de concreto elaboradas a partir de agua de pozos de La Antigua, Sacatepéquez.



Gráfica No. 13: Análisis estadístico de los esfuerzos a compresión para muestras de concreto elaboradas a partir de agua de pozos de San Juan, Sacatepéquez.



Gráfica No. 14: Análisis estadístico de los esfuerzos a compresión para muestras de concreto elaboradas a partir de agua de pozos de San Lucas Sacatepéquez.



## CAPITULO VIII

### DISCUSION DE RESULTADOS

Este trabajo de investigación se realizó con el propósito de determinar la calidad del concreto producido para fines de construcción, a partir de aguas de pozos de calidad incierta en los municipios de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez. Se prestó gran importancia a la adecuada selección del lugar de análisis pues de este factor dependía el éxito del proceso investigativo.

Se procuró, que el lugar de evaluación contará con escaso récord investigativo en este tema. También se verificó que la población del lugar se abasteciera principalmente de agua de pozo para todos sus servicios elementales, por carecer del servicio de agua potable. Este hecho garantizó el uso de agua de pozo para fines de construcción en estas comunidades, punto en el cual radica la credibilidad de este trabajo de investigación. Finalmente se consideró importante localizar pozos cercanos de plantas industriales, comerciales o agrícolas para las muestras, de modo que produjeran cierto grado de contaminación directa o indirecta en suelos y aguas subterráneas del lugar y así aumentar, la posibilidad de contaminación de los pozos en cuestión.

Durante el proceso investigativo se observó que existen muchos estudios acerca de cementos y agregados de todo tipo en mezclas de concreto. No obstante, a la calidad de las aguas de mezclado, no se les ha brindado la misma importancia. Esta situación se consideró extraña, puesto que es precisamente la relación agua cemento la que determina la calidad del concreto. "La medida para la calidad del concreto empleada más universalmente es la resistencia a la compresión; medida que se relaciona inversamente con la relación agua cemento de la mezcla", según Backstorm (1995). Así, se encontró que en un concreto plenamente compactado, fabricado con agregados limpios, la resistencia y otras

propiedades deseables se ven gobernadas por la cantidad y calidad de agua de mezclado utilizada por unidad de cemento.

La contaminación por compuestos químicos orgánicos o inorgánicos de pozos industriales es común, con concentraciones superiores a las propias de aguas potables. El análisis de las muestras de aguas se realizó mediante cromatografía líquida en columna empacada y, durante el proceso, se prestó especial atención a contaminantes como los carbonatos y bicarbonatos alcalinos presentes en las muestras analizadas, pues estos provocan efectos adversos en los tiempos de fraguado y una reducción de hasta un 30% en la resistencia del concreto a concentraciones mayores que 1000 ppm. Otras sales inorgánicas que se evaluaron cuidadosamente fueron las sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo, pues concentraciones de tan solo 500 ppm en las aguas de mezclado reducen considerablemente la resistencia del concreto en un 25% y aceleran el tiempo de fraguado hasta en un 20%. Acelerar demasiado el tiempo de fraguado provoca fisuras en el concreto recién secado y desprendimiento de los componentes involucrados. De igual forma, el yodato de sodio, fosfato de sodio y borato de sodio se consideran contaminantes especialmente activos como retardantes en el desarrollo del proceso de fraguado y de la resistencia del concreto, cuando se presentan en aguas de mezclado en concentraciones de unas cuantas décimas porcentuales del contenido en peso del cemento.

A pesar de que, según la teoría, se esperaba encontrar concentraciones elevadas de contaminantes en las muestras de agua de pozo analizadas, debido a su cercanía a las diversas fuentes de contaminación descritas con anterioridad; los resultados obtenidos, por el contrario, no rebasaron los límites máximos permisibles establecidos teóricamente que provocan alteraciones relevantes en las propiedades físicas y químicas características del concreto (Ver Gráficas # 1-11). Esto se debió al tipo de suelo del Departamento de Sacatepéquez, que es, en general, montañoso homogéneo en toda su extensión, constituido principalmente

por más de diez metros de espesor de cenizas, arenas o limos desde sueltos hasta de densidad media y más de diez metros de espesor de arcillas blandas o semiblandas con o sin estratos arenosos intermedios. Este tipo de terreno homogéneo sirve como filtro natural y proporciona a las aguas subterráneas concentraciones constantes, bajas, de contaminantes disueltos del terreno que los contiene. Un aspecto importante para discutir es que este tipo de terreno montañoso obliga, por lo general, a que los pozos sean profundos (100 a 150 metros), pues el manto freático no está cerca de la superficie. La profundidad de los pozos, no obstante, es ventajosa pues crea la tendencia a obtener aguas "más limpias", en cuanto a contaminantes orgánicos y bacterias.

La preparación de los cilindros para la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto se elaboró de acuerdo a las especificaciones de las Normas ASTM C 172 para los Métodos de Muestreo de Concreto, hasta donde fue posible. No obstante, el análisis de resistencia a la compresión de los cilindros de muestreo generó resultados por debajo de los valores teóricos esperados para concreto de albañilería compuesto por cemento Portland gris 4000 PSI, agua de mezclado, previamente analizada, arena de río y pedrín de 1/2", en proporción 1:2:3 respectivamente, con un 15% de error (Ver Tabla # 16 y Gráficas # 12-14).

Para comprender de mejor manera los resultados generados por estas pruebas, es importante saber que el análisis de resistencia a la compresión de todos los cilindros de muestreo se realizó en el Laboratorio de Ingeniería S.A. (LABINGSA) para suelos y pavimentos, entidad privada localizada en la 1a. calle 3-17 zona 4 de Mixco, Colonia Monte Verde. Este laboratorio cuenta con el equipo adecuado para la realización de este tipo de análisis. No obstante, el diseño del laboratorio es deficiente, pues carece de equipo auxiliar para controlar condiciones de laboratorio indispensables para el éxito de este proyecto investigativo, pues los resultados experimentales obtenidos debían compararse con

valores teóricos previamente establecidos en laboratorios especializados, totalmente equipados y con mano de obra altamente calificada en esta materia. Esto indica que se trabajó con desventaja en lo que respecta a la exactitud de resultados.

El laboratorio no cuenta con sistema de calefacción, en primera instancia, lo que imposibilitó la regulación de temperatura del ambiente a  $36\pm 2^{\circ}\text{C}$  requeridos para la evaluación. Se intentó colocar un calentador doméstico, pero no se pudo garantizar la exactitud y estabilidad del mismo.

El laboratorio, no es de ningún modo aislado, de modo que fuera posible controlar circulación acelerada de aire y fuentes de evaporación. Finalmente, el equipo para realizar las pruebas de compresión no se ajusta a la tecnología moderna y requiere de calibración constante entre prueba y prueba para generar resultados, que no siempre son precisos, por lo que fue muy difícil determinar su exactitud.

Para verificar que, en efecto, los resultados generados por los cilindros de muestro se habían alterado por la falta de control de condiciones durante su evaluación y no por el procedimiento antes, durante y después de la evaluación de los cilindros de muestreo en sí, se realizó un tipo de análisis estadístico denominado Fenómeno Errático, mecanismo de gran aporte para análisis de calidad. Como se puede observar en las Gráficas # 12-14, todos los valores se ajustan aleatoriamente a la media, lo que indica que el procedimiento se realizó adecuadamente y se obtuvo un porcentaje de error del 15%, respecto a los valores teóricos establecidos. Cualquier punto dispuesto por encima del límite superior o por debajo del límite inferior se interpreta como un error de proceso en ese punto, como sucedió con el primer cilindro de muestreo del municipio de La Antigua.

El resultado de resistencia a la compresión del primer cilindro de muestreo para el municipio de La Antigua generó un 41.71% de error respecto al valor teórico y se situó en la gráfica ilustrativa por debajo del límite de control inferior, con lo que se verificó que existía en ese punto algún tipo de deficiencia en el procedimiento que se llevaba a cabo. En efecto, se comprobó que la falta de experiencia práctica provocó que este primer cilindro de muestreo se colocara inadecuadamente en los platos de compresión, se agrietó antes de tiempo, por lo que el equipo generó un resultado erróneo y totalmente desfasado de la media.

## CAPITULO IX

### CONCLUSIONES

1. El tipo de suelo analizado, homogéneo en gran parte de su extensión, sirve como filtro natural. Entre capa y capa del subsuelo retiene partículas químicas contaminantes disueltas en las aguas que circulan a través de ellas.
2. Las aguas de pozos analizados en los municipios de La Antigua, San Lucas y San Juan Sacatepéquez son adecuadas como aguas de mezclado para la producción de concreto de alta calidad, pues no rebasaron los límites máximos permisibles establecidos por las Normas ASTM para alterar las condiciones físicas y/o químicas del mismo.
3. Las pruebas de resistencia a la compresión realizadas a los cilindros de muestreo generaron resultados con un 15% de error, respecto a los valores teóricos esperados. Este error se atribuye a la deficiencia en el control de condiciones de laboratorio requeridas para garantizar el éxito en este tipo de análisis.
4. Con el análisis estadístico de los resultados de esfuerzos a la compresión de los cilindros de muestreo se verificó que el procedimiento llevado a cabo antes, durante y después de las pruebas se realizó adecuadamente. Esto se puede observar en las Gráficas Nos. 12-14 donde los puntos para todos los cilindros, excepto uno, se situaron aleatoriamente cerca de la media, sin rebasar los límites de control superior o inferior respectivamente.
5. El resultado de resistencia a la compresión del primer cilindro de muestreo para el municipio de La Antigua generó un 41.71% de error, respecto al valor

teórico y se situó en la gráfica ilustrativa por debajo del límite de control inferior. Con esto se determinó que existía en ese punto algún tipo de deficiencia en el procedimiento aplicado. En efecto, por poseer conocimientos teóricos únicamente y carecer de experiencia práctica, se colocó este primer cilindro de muestreo inadecuadamente en los platos de compresión, lo que provocó una fisura antes de tiempo y el equipo generó por lo tanto un resultado erróneo, totalmente desfasado de la media.

## CAPITULO X

### RECOMENDACIONES

1. Realizar el mismo estudio con agua de pozos localizados en otros departamentos de la República de Guatemala, con distinto tipo de terreno, para establecer la relación entre la contaminación de aguas subterráneas y el terreno que las contiene.
2. Efectuar este estudio con agua de pozos superficiales, para determinar qué tanto más contaminadas se encuentran éstas en comparación en las provenientes de puntos profundos del pozo (100 metros de profundidad), como se hizo en este trabajo de investigación.
3. Hacer un análisis cuidadoso de las aguas de los pozos, para establecer si se pueden considerar aguas potables, ya que estos pozos son las únicas fuentes de abastecimiento para el consumo humano de diversas comunidades rurales.
4. Determinar en estudios posteriores mediante análisis químico, la composición exacta del agua de mezclada necesaria para lograr la resistencia específica de cualquier tipo de cemento.
5. Realizar el mismo estudio durante el invierno, para determinar si el arrastre producido por las lluvias aumenta la concentración de contaminantes en el agua de los pozos trabajados, lo que permitirá un análisis más profundo sobre los efectos que cada contaminante provoca en el concreto.

## CAPITULO XI

### BIBLIOGRAFIA

1. McMillan, F.R., and Lyse, Inge. 1979. *Permeability Studies Of Concrete*.  
Journal of The American Concrete Institute. Vol. 26. Pp. 101-142.
2. Powers, T.C. 1995. *Studies of The Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste*. Portland Cement Association.  
Department Bulletin RX002.
3. Brunauer, Stephen and Copeland, L.E. 1984. *The Chemistry of Concrete*.  
Scientific American. New York.
4. Powers, T.C. 1986. *The Nature of Concrete*. Research Development  
Bulletin RX196. Portland Cement Association.
5. Brikkerhoff, C.H. 1998. *Report to ASTM –Testing Concrete Program*.  
Cooperative Test Program. University of California.
6. Backstorm, J.E.; Burrow, R.W. 1995. *Investigation into the Effects of Water-Cement Ratio on the Resistance of Concrete*. Research  
Department Bulletin RX053. Portland Cement Association.
7. Seghal, J.P. 1985. *Concrete Mix Design and Development*. Quarry  
Publications Inc. Cleveland. Pp.389-411.
8. Bogue, R.H. 1995. *The Chemistry of Portland Cement*. Reinhold  
Publishing Cooperation. New York.

9. Brunauer, S. 1997. *Some Aspects of Physics and Chemistry of Cement*. Research Department Bulletin RX080. Portland Cement Association.
10. Klieger, Paul. 1998. *Mixing Properties for Concrete*. Bureau Association. Denver, Colorado.
11. Copeland, L.E.; Kantro, D.L. 1980 *Chemistry of Hydration of Portland Cement*. Research Development Bulletin RX153. Portland Cement Association.
12. Clausen, C.F. 1961. *Cement Materials*. Research Department Report MP-95. Portland Cement Association.
13. Campbell, Donald H. 1996. *Microscopical Examination and Interpretation of Portland Cement and Clinker*. Research Department Report SP030T. Portland Cement Association.
14. Verbeck, G. 1995. *Influence of Physical Characteristics of Aggregates on Resistance of Concrete*. Journal of The American Concrete Institute. Pp. 567-600.
15. Stark, D. 1984. *Test and Properties of Concrete Aggregates*. Portland Cement Association. Department Bulletin Part III. Pp.379-512.4
16. Litvin, D. 1986. *Symposium of Mineral Aggregates*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
17. Houston, B.J. 1996. *Concrete Aggregates*. Research Development Bulletin RX176. Portland Cement Association.

18. Steinorur, H. 1990. *Concrete Mix Water, How Impure Can It Be?*  
Philadelphia Research Department Bulletin RX119. Pp. 53 – 101.
19. McCoy, W.J. 1996. *Mixing Water For Concrete. American Society for Testing and Materials.* Philadelphia. Pp. 515 - 521.
20. Brown, E. T. 1984. *Method of Test for Quality of Water to be Used in Concrete.* Scientific American. Washington, D. C. Pp. 26 - 79.

## CAPITULO XII

### ANEXOS

Figura No. 12.5: Compresión de cilindros de concreto de 15x30 cm, con Prensa Marca SOILTEST de 60 ciclos.

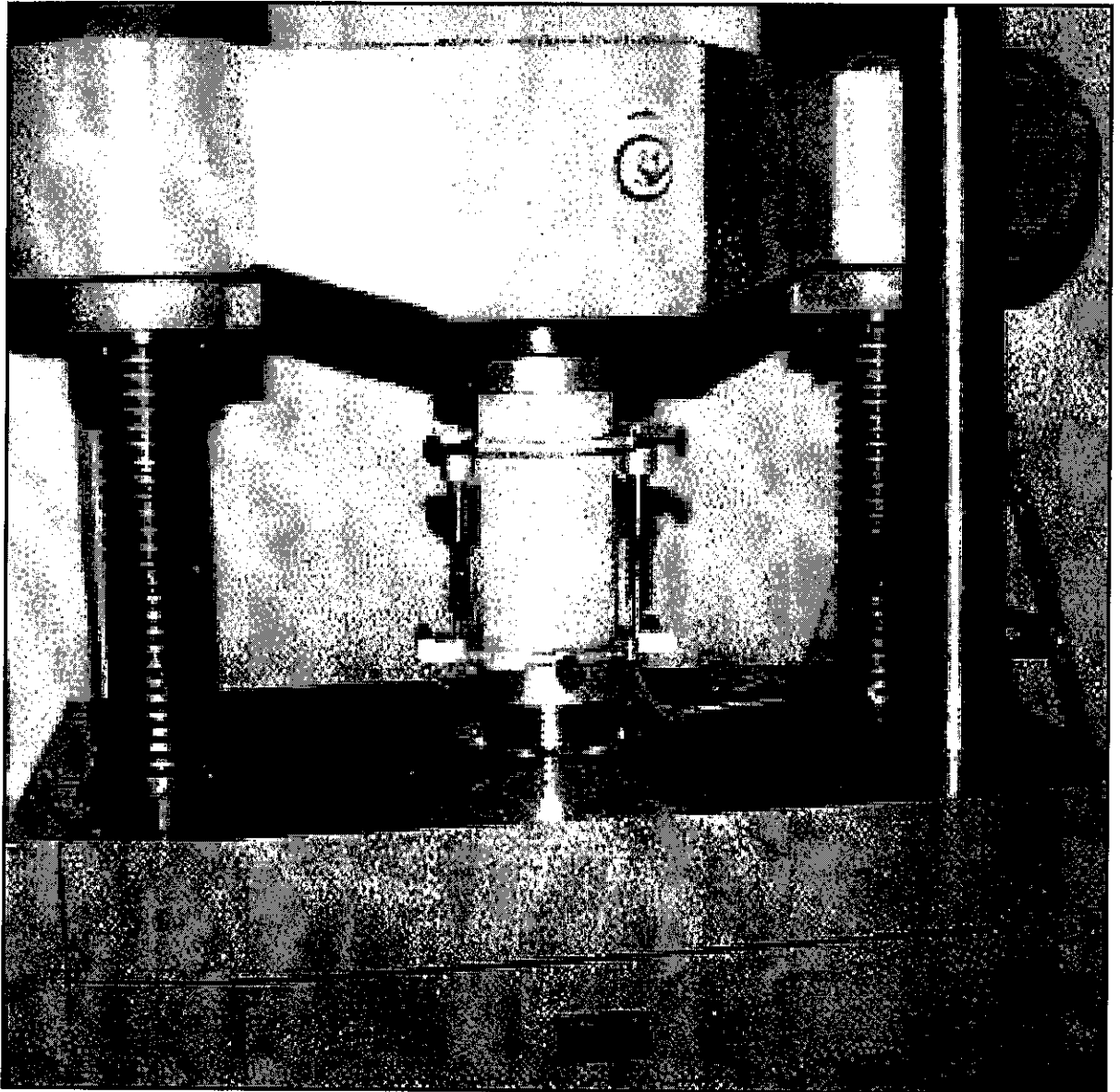


Figura No. 12.6: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Prensa Marca SOILTEST de 60 ciclos de Área de Cómputo de Resultados.



Figura No. 12.7: Ing. Carlos Arturo Mora: Laboratorio de Resistencia de Materiales.



Figura No. 12.8: Equipo auxiliar para Máquina Universal.

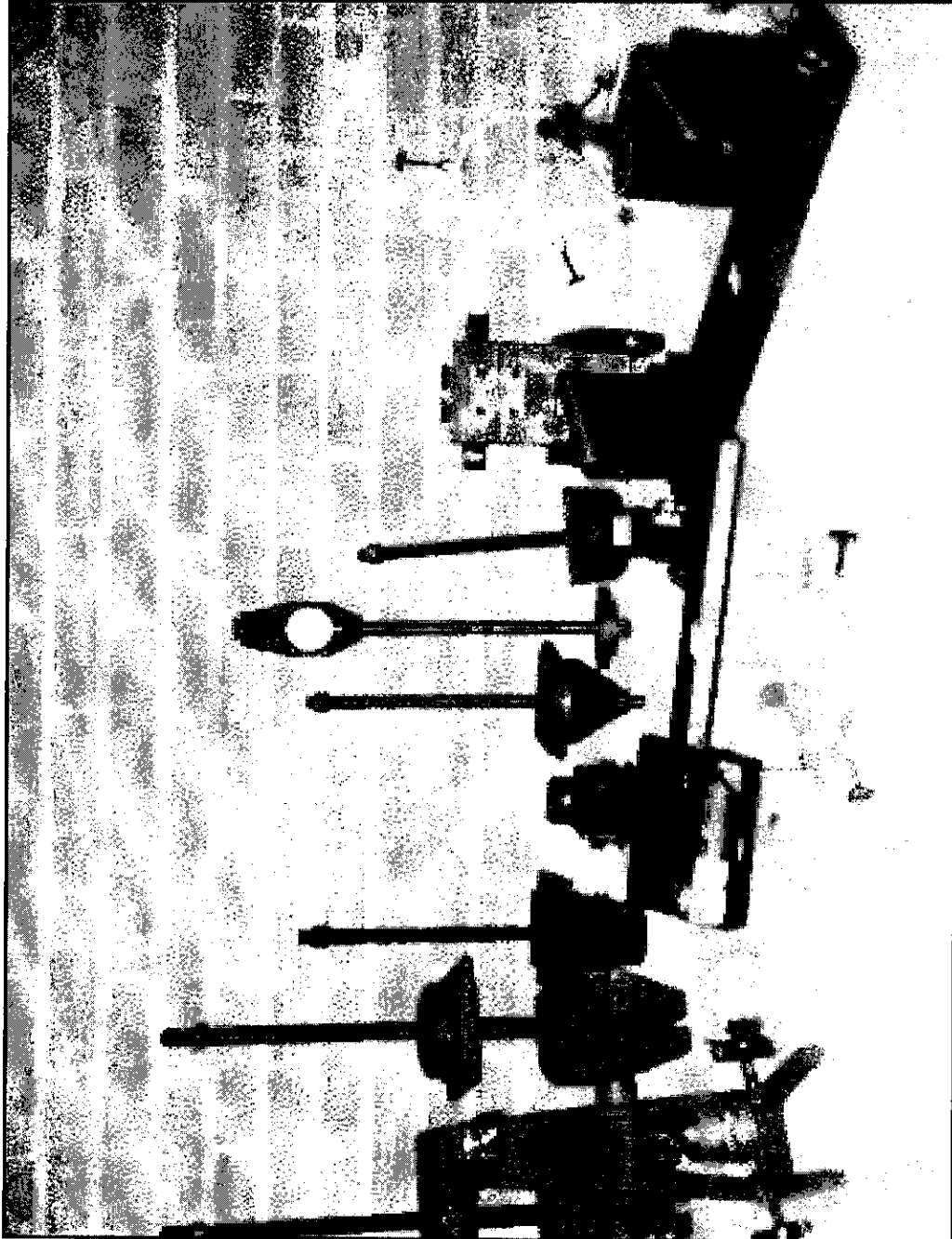


Figura No. 12.9: Equipo de revenimiento para concreto.

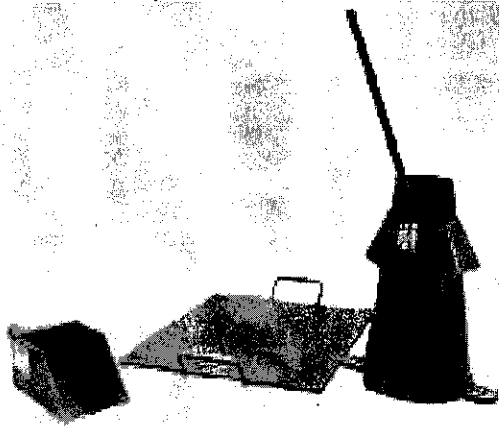


Figura No. 12.10: Molde tipo Porter.

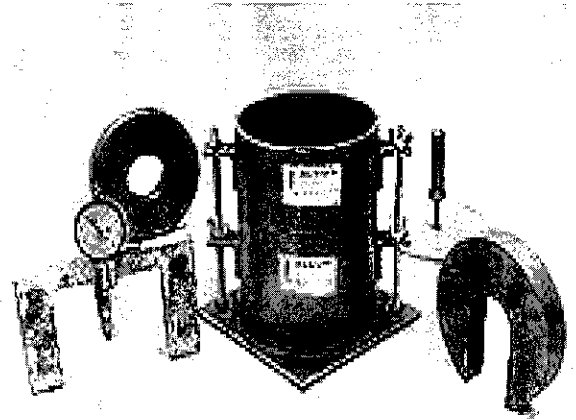


Figura No. 12.11: Moldes para cilindros de concreto y para morteros.

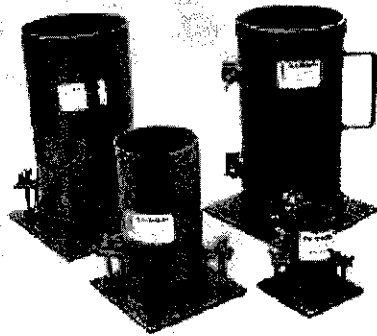


Figura No. 12.12: Equipo de partículas de alargadas y lajeadas, cono, pinzón de absorción de arenas y pignómetro tipo sifón.

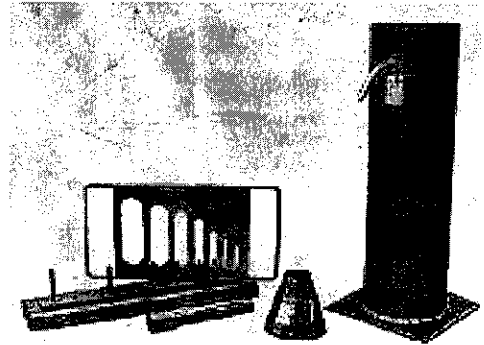


Figura No. 12.13: Aparato para límites líquidos copa de CASAGRANDE.

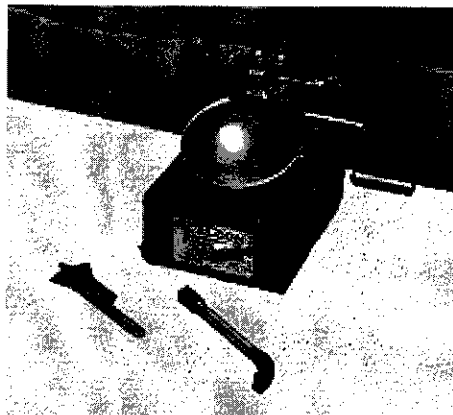


Figura No. 12.14: Prensa eléctrica de 120 tons. para cilindros de concreto.

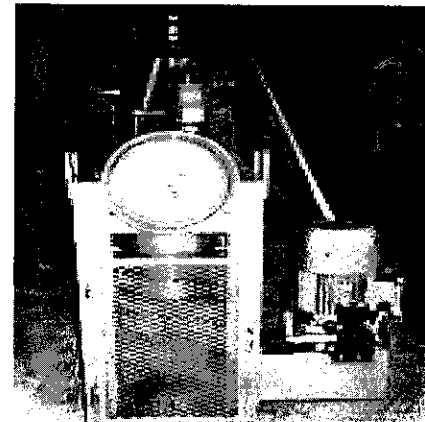


Figura No. 12.15: Pruebas de compresión de concreto en obra.

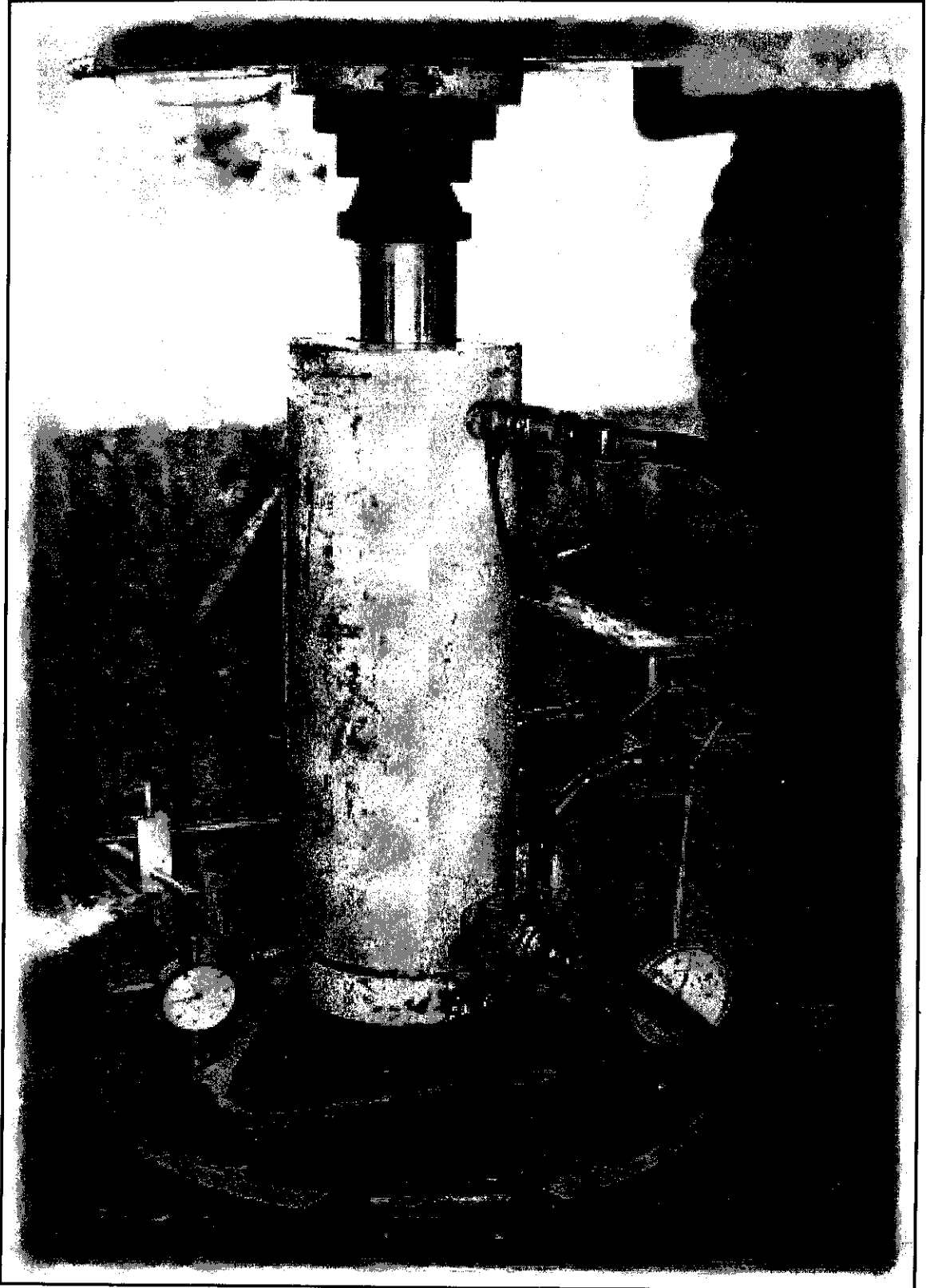


Figura No. 12.16: Equipo en el Laboratorio de Estructuras del Departamento de Ingeniería CONCYTEC, para pruebas de calidad del concreto.

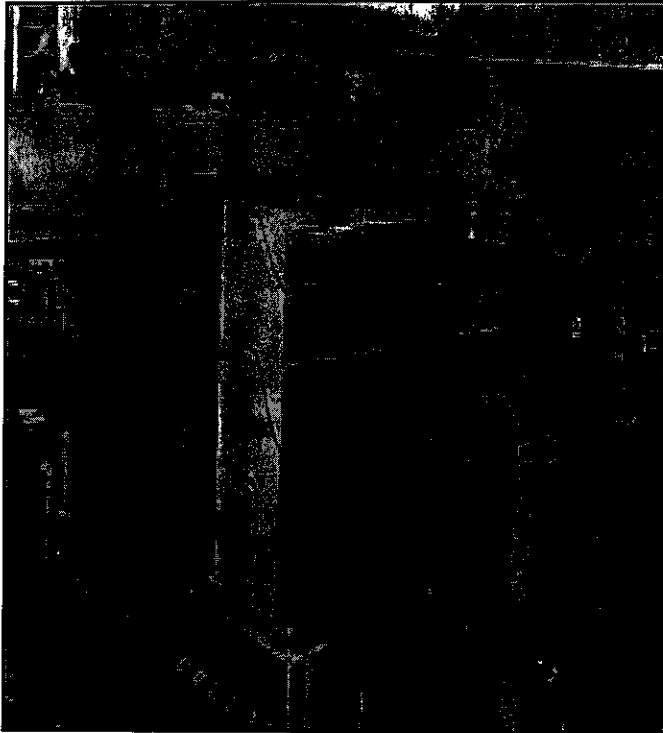


Figura No. 12.16a.: Este proyecto fue financiado por CONCYTEC. El ensayo mostrado es de simulación sísmica en la mesa vibradora del laboratorio. El módulo fue construido fuera de la nave de ensayos y transportado hacia la mesa vibradora por medio de una grúa.

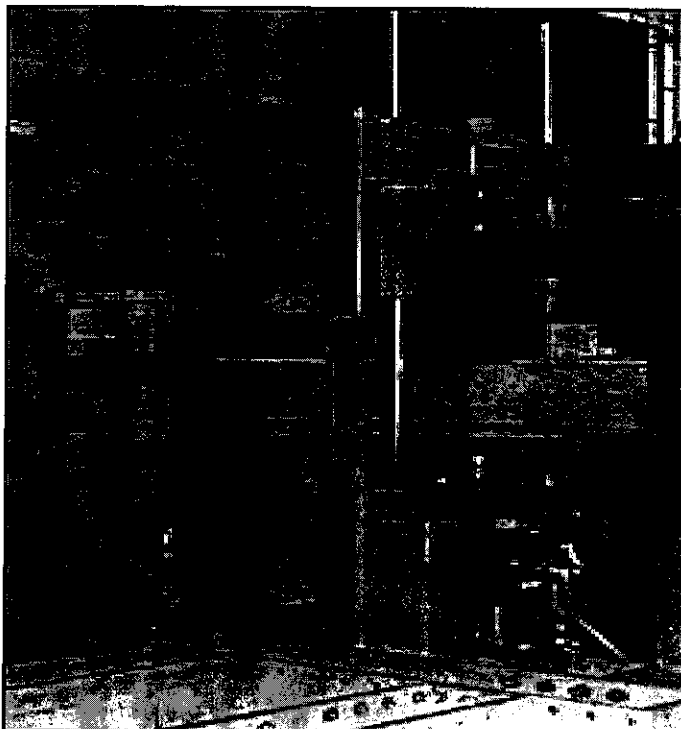


Figura No. 12.16b.: Como ejemplo del servicio que el laboratorio brinda a la industria, se muestra la ejecución de un ensayo de fatiga durante dos millones de ciclos en un riel soldado. La máquina universal permite ejecutar ensayos estáticos y cíclicos como el que se muestra.

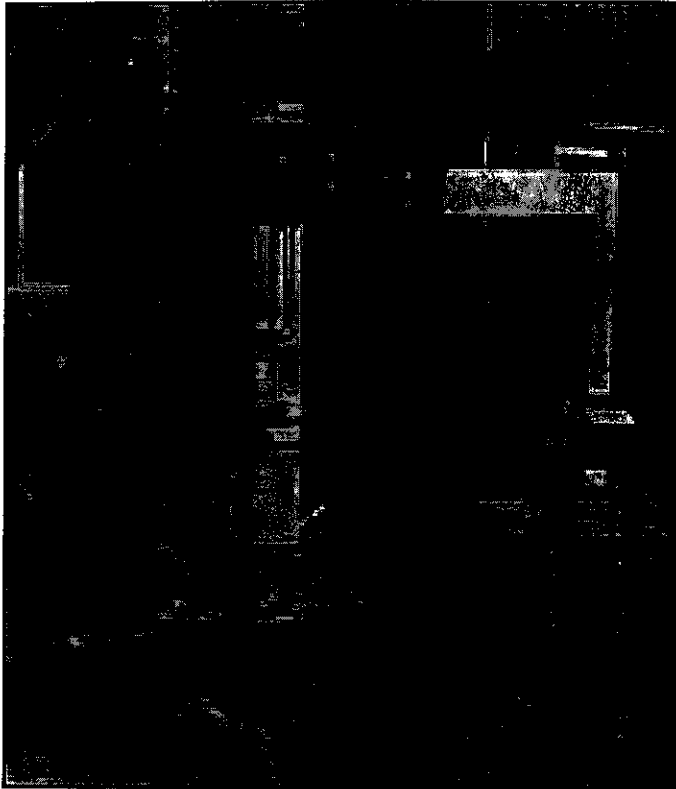
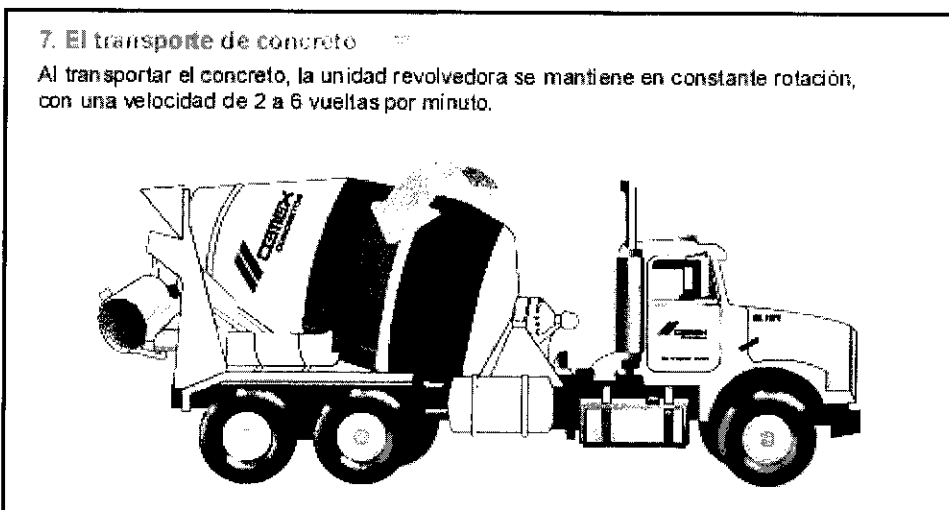
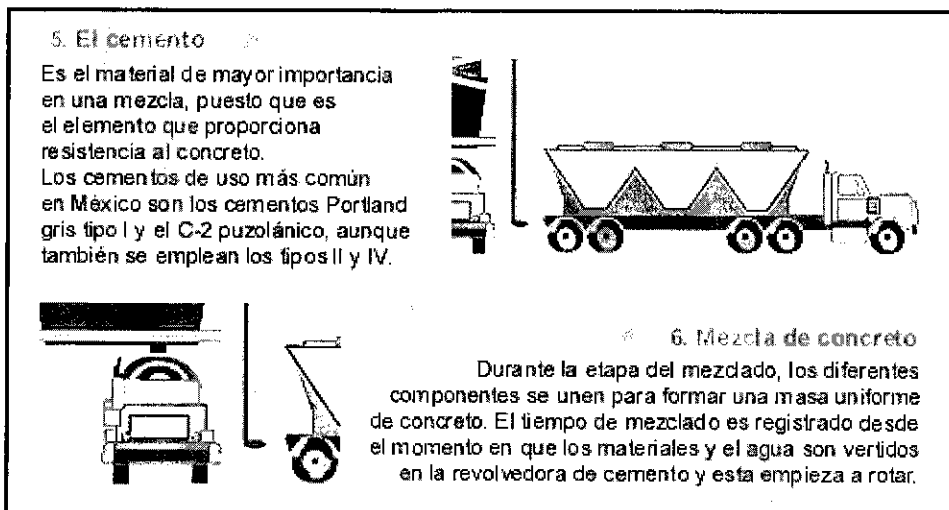
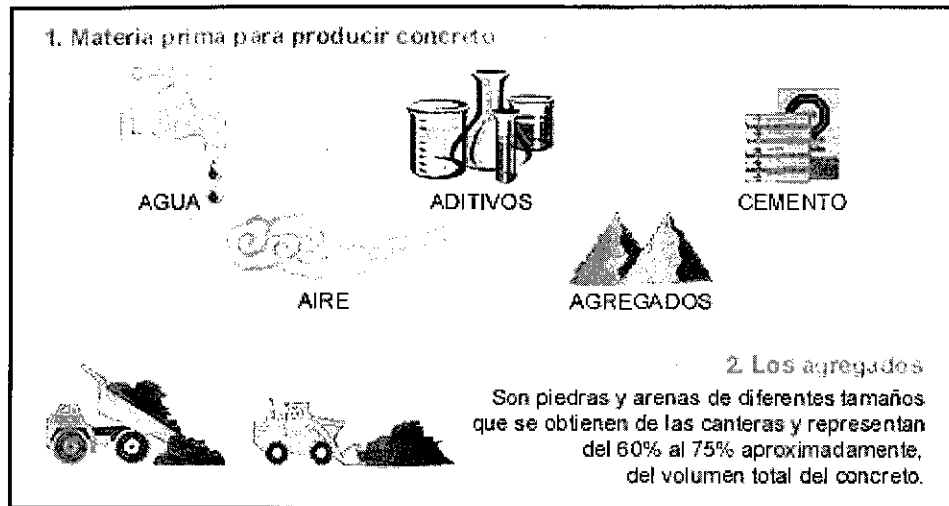


Figura No. 12.16c.: Ensayo de Compresión Axial. Este es un montaje típico donde se emplea gata hidráulica, celda de carga y perfiles metálicos del tipo mecano como marco de reacción. El registro de carga se hace mediante un amplificador electrónico y graficador.



Figura No. 12.16d.: Ensayo típico de compresión de un cilindro estándar de concreto.

Figura No. 12.17: Proceso de producción de concreto para uso industrial.



ASTM E 4. Máquinas y equipos. Métodos para verificar la carga aplicada por máquinas de ensayo.

ASTM C 1 142. Ingeniería Civil y Arquitectura Mortero premezclado (de larga duración) para mampostería.

ASTM c 618. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento Pórtland .

ASTM C 156. Ingeniería Civil y Arquitectura. Retención de agua de los materiales utilizados para el curado de concreto.

ASTM E 447. Ingeniería Civil y Arquitectura. Resistencia a la compresión de prismas de mampostería.

ASTM C 780. Ingeniería Civil y Arquitectura. Métodos de ensayo para la evaluación, en laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada.

ASTM E 592. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar la resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería.

ASTM C 1019. Ingeniería Civil y Arquitectura. Muestreo y ensayo de concreto fluido.

ASTM C 330. Ingeniería Civil y Arquitectura. Agregados livianos para concreto estructural.

ASTM C 476. Ingeniería Civil y Arquitectura. Lechadas (Grouts) para mampostería.

ASTM C 91. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento para mampostería.

ASTM C 1 734 Ingeniería Civil y Arquitectura. Elaboración de paneles de mortero para ensayar revestimientos.

ASTM C 1 180. Ingeniería Civil y Arquitectura. Términos y definiciones sobre mampostería de concreto.

