



BUAP

BENEMÉRITA **U**NIVERSIDAD **A**UTÓNOMA DE **P**UEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO
EN LA ESTRUCTURA DE LAS TORRES
EJECUTIVAS J.V. I Y II**

TESIS

Para obtener el grado de
**MAESTRO EN INGENIERÍA CON OPCIÓN
TERMINAL EN CONSTRUCCIÓN**

Presenta:

ARQ. GLADYS ZAPOTE GARCÍA

Asesor

M.I. WOLSTANO VERNET LÓPEZ

Puebla, Pue.

Diciembre, 2018



BUAP

Oficio No. 4163/2017

C. Gladys Zapote García

Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Construcción
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Evaluación de la calidad del concreto en la estructura de las torres ejecutivas JV1 y 2**. Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Construcción. Asignándose como Asesor al M.I. Wolstano Vernet López.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Zaragoza, noviembre 24 de 2017.

M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director

C.c.p. M.I. Wolstano Vernet López, Asesor del Tema de Tesis

C.c.p. Archivo

ABH/WVL/sco*

ABH

80 AÑOS
DE UNIVERSIDAD

Facultad
de Ingeniería

Bvld. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. 108 C, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

Acta resolutive de impresión de tesis

Puebla, Pue. A 27 de noviembre de 2018.

M.I. Fernando D. Lazcano Hernández

Director de la Facultad de Ingeniería

De la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

P R E S E N T E.

El que suscribe M.I. Wolstano Vernet López asesor del trabajo de Tesis denominado: "Evaluación de la calidad del concreto en la estructura de las torres ejecutivas JV I y II". Realizado por la Arq. Gladys Zapote García, le informo que después de haber revisado dicho trabajo de Tesis, no tengo inconveniente en autorizar su impresión.

Sin otro asunto que tratar quedo a sus apreciables órdenes por cualquier duda o aclaración.

Atte.



M.I. Wolstano Vernet López

Ccp. El alumno.

Ccp. para Archivo.

Dedico esta tesis:

A **Dios** primeramente por ser quien me da la vida, y me ha regalado la capacidad, sabiduría e inteligencia, así como los medios suficientes para lograr esta meta. Todo se lo debo a Él.

A **mis padres**, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, porque en cada etapa siempre han estado a mi lado. Los amo.

A **mis hermanos, Leo**, este logro también es por ti hermano, gracias por enseñarme en tus limitaciones, que podemos lograr mucho, cuando nos proponemos, nunca es tarde. **Ly**, gracias por tu compañía, por los momentos tan amenos que pasamos juntas; los dos me hacen la vida mas divertida, los quiero mucho.

A **mis amigos**, por inspirarme siempre a cumplir mis sueños, por estar ahí para darme las palabras que necesito y animarme a nunca rendirme, gracias por los momentos tan gratos a su lado, siempre agradeceré tenerlos en mi vida.

Agradecimiento

M.I. Wolstano Vernet López

Maestro, reconozco la labor que realiza día a día. Gracias por ayudarme a vivir el sueño de superarme y cumplir nuevas expectativas. Esta ocasión no es la excepción, exalto su trabajo, y agradezco de corazón el apoyo basto para la realización de esta Tesis, y poder hoy lograr esta nueva meta, mi maestría.

¡Muchas gracias a Todos!

ÍNDICE

Introducción

Capitulo I.- Protocolo de Investigación

Planteamiento del problema

Justificación

Hipótesis

Objetivos

Capitulo II.- Marco de referencia

Macrolocalización y Microlocalización

Marco histórico

Marco teórico

Capitulo III.- Marco metodológico

Normas de control

Criterios

Procedimiento

Desarrollo de la Investigación

Técnicas e instrumentos

Capitulo V.- Análisis y Validación de los Resultados

Conclusiones/recomendaciones/propuesta

Bibliografía

Anexos

Planos

Introducción.

El presente trabajo de investigación se refiere a la obra denominada “Construcción de Torres Ejecutiva J.V. I y II, Ubicada Vía Atlixcáyotl #5208, colonia San Martinito en el Municipio de San Andrés Cholula, en la Zona metropolitana de Puebla, el proyecto tiene la finalidad de modernizar el entorno comercial del corredor Vía Atlixcáyotl, ya que es una arteria principal del municipio asentada al Oeste de Puebla en una extensión de terreno de 400 m² y se proyectan las Torres Ejecutivas J.V, I y II, edificaciones de uso exclusivo para oficinas, para dicha edificación se calculó una inversión aproximada de \$ 650'000,000.00 MDP derivados de un capital privado. Una obra para beneficio del potencial empresarial poblano actual. Ante esta situación con el conocimiento de las técnicas estadísticas fue posible evaluar la uniformidad de las mezclas de concreto que se fabricaron en planta y así asegurar un producto de mejor calidad.

En virtud de que el concreto es una masa endurecida de materiales heterogéneos que está sujeto a la influencia de numerosas variables, las características de cada uno de los componentes del concreto pueden producir variaciones que dependen de su uniformidad.

Dada la importancia de este proyecto nace la inquietud de analizar toda una serie de especímenes de concreto de grado estructural que fueron muestreados en obra y ensayados en laboratorio durante el desarrollo de la misma y así dejar asentado que mediante un análisis estadístico de los resultados es posible elaborar especificaciones racionales para controlar la calidad del concreto y poder mejorar las construcciones y hacerlas más económicas.

Capítulo I.- Protocolo de Investigación

Planteamiento del problema.

La fabricación del concreto empleado en la obra denominada “Torres ejecutivas J.V. I y II”, de la Vía Atlixcáyotl en el municipio de Puebla, del Estado de Puebla fue dosificado y mezclado en planta, y la calidad de éste depende de muchos factores como son: el clima, los materiales (propiedades físico-químicas y mecánicas), la dosificación y homogeneización de los agregados (en peso) y por tanto la calibración de los equipos de mezclado y su mantenimiento, la relación agua-cemento, el traslado de la mezcla, el vaciado, el vibrado, el compactado y el curado entre otros factores más.

Todas estas condiciones que influyen en las variaciones de resistencia del concreto pueden monitorearse en el laboratorio. Sin embargo ante el desconocimiento de las normas y reglamentos vigentes aplicables a la fabricación, transporte, manejo, vaciado, vibrado, compactado y curados en campo, así como al muestreo y ensaye de especímenes de concreto fresco y endurecido para un laboratorio de análisis de materiales es que se presenta el reto de evaluar la calidad del concreto durante la ejecución de la obra. Esto nos obliga a emplear métodos de diseño de mezclas en donde se contemplen ciertos márgenes de seguridad para obtener las resistencias y la durabilidad que se requiere en los proyectos. Para esto es necesario hacer una evaluación estadística observando las indicaciones de la Norma Mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2004, la Norma Americana ACI 214R-11 y el manual M.CAL.1.02 y -03 S.C.T. en donde por medio del análisis de cierto universo de muestras ensayadas a compresión simple y que son representativas del concreto que se emplea en la obra nos genera resultados confiables.

La intención es controlar la calidad tanto en campo como en laboratorio para asegurar la calidad que exige el proyecto y así aumentar su marco de seguridad y eficiencia.

¿La calidad de concreto desde su fabricación hasta el vaciado, puede correlacionarse con el muestreo y ensaye de cilindros de concreto realizadas por un laboratorio de calidad durante la ejecución de la obra?

Aspectos Importantes

Durante la construcción de la obra “Torres Ejecutivas JV I y II, para la fabricación del concreto empleado, se dosifico y mezclo en planta, por lo que la calidad del concreto depende de factores como: el clima, las propiedades físico-químicas y mecánicas de los materiales, la dosificación y homogeneización de los agregados, así como de la calibración de los equipos de mezclado, siendo un factor muy importante la relación agua-cemento, el traslado de la mezcla, el vaciado, el vibrado, el compactado y el curado.

Justificación.

En todo proyecto, es necesario asegurar un buen control de calidad en las mezclas de concreto, tanto de los materiales que se emplean para la elaboración del mismo, así como del proceso de fabricación (dosificación), transporte, vaciado, vibrado, compactado, cimbrado y curado. Por esta razón debe emplearse un método de análisis estadístico normativo aplicable a las condiciones y especificaciones vigentes, con el fin de garantizar los mejores resultados para su control desde el punto de vista técnico - constructivo.

Se considera dentro de los alcances del presente trabajo, la emisión de resultados de evaluación de calidad en resistencias de concreto, con objeto de prevenir irregularidades en la fabricación del mismo y su manejo durante el

proceso de obra, mediante resultados numéricos y gráficos que detecten sus variaciones y realizar los ajustes necesarios en tiempo y forma, considerando los porcentajes que nos permiten tolerar resistencias por debajo del proyecto, clasificando así su grado estructural.

De no realizarse el procedimiento de control de resultados de prueba en especímenes de concreto por parte de un laboratorio, se correría el riesgo de incumplir con la resistencia y durabilidad de los concretos que exigen las especificaciones, reglamentos y/o leyes normativas para cualquier proyecto.

De la misma forma se alteraría el costo y el tiempo de ejecución que deriva del uso racional del concreto y sus agregados y finalmente acabaría por mermar sus años de vida útil.

Hipótesis

A partir del análisis de resultados de pruebas a compresión simple en los concretos premezclados de los edificios Torres ejecutivas JV I y JV II, se puede evaluar la calidad del concreto.

Objetivo General:

Medir las variaciones de la resistencia del concreto fresco y endurecido, mediante la aplicación del Método Estadístico que propone la Norma ACI214-R11 y el manual M.CAL.1.02 y -03 SCT para los resultados de pruebas a compresión simple y poder evaluar su calidad.

Objetivos Específicos:

- Establecer los conceptos teóricos a que se refiere el conocimiento de las variaciones del concreto fresco y endurecido.

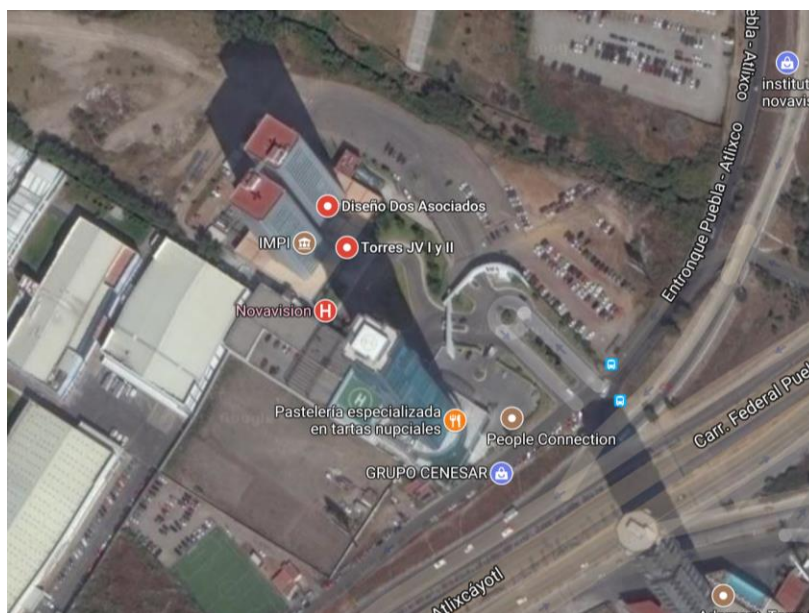


Fig. 2 Localización específica del sitio

De acuerdo con la *zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla*¹, el predio se encuentra en una zona de depósitos tobáceos cubiertos superficialmente por una capa de arcilla expansiva de alta plasticidad (Fig. 3).

Los antecedentes geotécnicos del predio están contenidos en el estudio geosísmico y en el estudio de mecánica de suelos realizados por esta firma en marzo y junio del presente año², así como en los planos estructurales que fueron proporcionados por los ingenieros Gerardo Corona y Carlos González, encargados del diseño estructural.

¹ICD, S. A. de C. V. *Zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla*. Presentación en el II Congreso Nacional, 1er. Simposium Internacional de Directores Responsables de Obra y Corresponsables. Noviembre, 1996. XIX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Noviembre, 1998.

² I. C. D., S. A. de C. V. *Estudio geosísmico y estudio de mecánica de suelos para determinar las propiedades geodinámicas del subsuelo y la cimentación más apropiada para la Torre JV, en el Municipio de San Andrés Cholula, Puebla*. Realizado para JV Inmobiliaria de Puebla, S. A. DE C. V. Marzo y Junio de 2002.



Fig. 3 Zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla

II.2 Marco histórico.

JV INMOBILIARIA DE PUEBLA, S. A. DE C. V., a través del Sr. Julián Ventosa Aguilera, encomendó a ICD (Ingeniería Civil en Desarrollo, S.A. de C.V.) los trabajos de asesoría técnica y control de calidad para la construcción de las Torres JV I y JV II, que se ubican al suroeste del centro de la ciudad de Puebla.

Control de Calidad de Materiales.

Concreto.

Los concretos suministrados a la obra fueron fabricados en las plantas de “Concretos La Cosa S.A. de C.V.” y “Apasco”. Se realizaron los muestreos en campo para obtener los especímenes de concreto con altura-diámetro 2:1 y las pruebas de revenimientos de acuerdo con lo especificado en proyecto estructural y en apego a las normas oficiales mexicanas. Cada muestra obtenida constaba de 4 probetas de concreto las cuales tenían que ensayarse en el laboratorio, tal como se indica a continuación:

1 espécimen a 7 días

- 1 espécimen a 14 días
- 2 especímenes a 28 días.

Del ensaye de los 2 especímenes o probetas de concreto con edades de 28 días, se promedian los resultados. Cabe mencionar que los ensayos a compresión simple se efectúan en las instalaciones de la empresa ICD, S.A de C.V.

Acero de Refuerzo.

Se utilizó acero de refuerzo corrugado R42 ($f_y=4200$ kg/cm²) en diferentes diámetros, pero en los empalmes de varillas mayores a 1" el proyecto estructural observó que se tenía que utilizar conectores de presión y para asegurar la calidad de estos trabajos, se contrató a una empresa verificadora de calidad denominada: "Tecno Ingeniería y Arquitectura S.A. de C.V."

El predio donde se construyeron las Torres JV I y II, se ubica en el Municipio de San Andrés Cholula, cercano a la caseta de la autopista Puebla-Atlixco (Fig. 1 y 2). El área en planta que ocupará la torre JV es de cerca de 400 m². De acuerdo con la *zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla*³, el predio se encuentra en una zona de depósitos tobáceos cubiertos superficialmente por una capa de arcilla expansiva de alta plasticidad.

Los antecedentes geotécnicos del predio están contenidos en el estudio Geosísmico y en el estudio de mecánica de suelos realizados por ICD S.A. de C.V. En marzo y junio del año 2002, así como en los planos estructurales que fueron proporcionados por los ingenieros Gerardo Corona y Carlos González, encargados del diseño estructural.

³ICD, S. A. de C. V. *Zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla*. Presentación en el II Congreso Nacional, 1er. Simposium Internacional de Directores Responsables de Obra y Corresponsables. Noviembre, 1996. XIX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Noviembre, 1998.

En la Fig. 4 se presenta la planta de cimentación profunda, donde se indica la secuencia de las excavaciones y la construcción de los paneles de muro. En esta figura se indica el tipo de panel o elemento que conforman el muro, los cuales se designaron como M-1, M-2, M-3 y M-4; los números encerrados en círculos representan la secuencia de construcción de la cimentación.

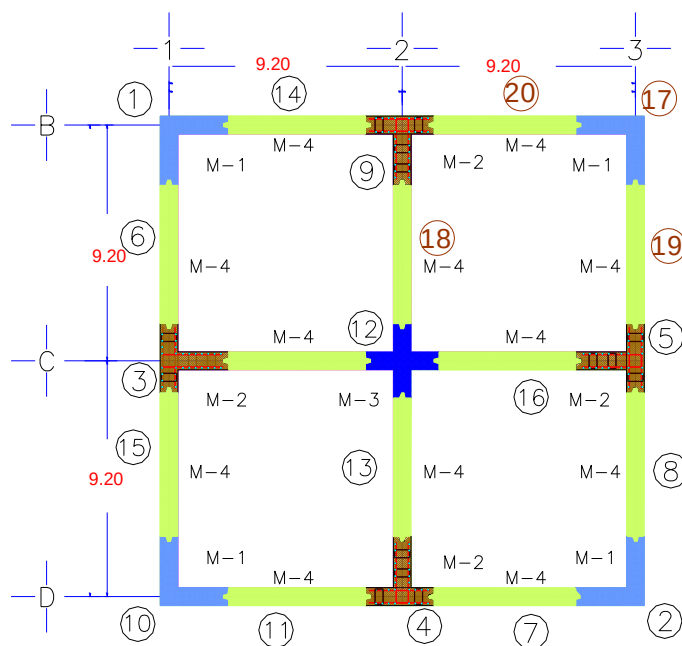


Fig. 4 Planta de cimentación con la secuencia del proceso de construcción de los elementos del muro

- ❑ En el periodo comprendido entre el 1º y el 15 de julio de 2003, se realizaron colados de panel de muro profundo (Muro Milán).
- ❑ Durante el proceso constructivo de la cimentación se llevó un control de calidad del concreto premezclado, verificando revenimientos, resistencias a la compresión, los cuales cumplieron con las especificaciones de proyecto y de la norma oficial mexicana C-155, C-156, C-83, C-109, C-160 y C-161. También se realizó la inspección de los trabajos de limpieza de acero con las recomendaciones mencionadas en el plano estructural, solicitado por el calculista.

II.3 Marco Teórico

Concreto Hidráulico

Es una mezcla de agregados, cementante y agua, a la que además se le pueden agregar algunos aditivos.

Concreto hidráulico estructural de masa normal en esta fresco:

Es la condición en la que el concreto hidráulico es capaz de resistir a las acciones para las cuales fue especificado.

Concreto premezclado

El diseño de la mezcla debe considerar el medio ambiente en el que estará el concreto; es decir, exposición al agua de mar, a tránsito vehicular, peatonal y montacargas, o climas extremos de frío o calor. Aunado a ello la dosificación en planta se realiza por pesos y no por volúmenes aparentes.

Aspectos de Campo

Los aspectos de campo que se describen a continuación, son aquellos que se determinarán la calidad de concreto premezclado:

- Fabricación del concreto premezclado
- Transportación
- Colocación
- Vibrado y compactado
- Curado

Fabricación del concreto premezclado:

Su fabricación consiste en mezclar sus agregados pétreos (arenas y gravas) con un aglutinante o cementante (cemento y agua) y para condiciones especiales de trabajo, aditivos. En peso, no en volumen.

Donde la precisión de la dosificación de los materiales es de vital importancia, para obtener la mezcla deseada.

El concreto premezclado se elabora a través de un proceso mediante el cual se integran cemento, agregados, aditivos y agua para formar una masa uniforme y homogénea. El concreto premezclado no es un producto terminado, ya que debe ser moldeado por el constructor o cliente quien le da a este material en estado plástico su forma final en la construcción. (Holcim,)

Para obtener un buen concreto, al colado de una estructura, debe seguir el curado dentro de un ambiente apropiado, durante las primeras etapas del endurecimiento.

Transportación

Es importante que al momento de transportar el concreto, la olla debe mantenerse en constante movimiento con una velocidad aproximada de 2 a 6 vueltas por un minuto, ya que después de añadir el agua al cemento y a los agregados, la descarga debe hacerse en el menor tiempo posible.

Colocación

El concreto se debe depositar lo mas cerca posible de su ubicación final para evitar cristalizaciones en la mezcla por exceder el tiempo de fraguado final.

La colocación debe efectuarse en forma continua mientras el concreto se encuentra en estado plástico, evitando la formación de juntas frías, además de humedecer previamente los moldes (cimbra) para evitar que el calor de hidratación generado al reaccionar el cemento con el agua, produzcan grietas por temperatura. Los elementos monolíticos se colocaran en capas horizontales que no excedan los 50 cm de espesor y que sean capaces de ser unidad por vibración. El objetivo principal de este proceso es evitar la segregación para lo que se hace uso de mangueras. Por tanto es recomendable no vaciarlo a alturas mayores a 1.5 m.

Vibrado y compactado

Vibración; es la más conveniente para la construcción ordinaria. No se debe usar el vibrador para trasladar el concreto dentro de la cimbra (G. Sandoval, 2007)

El propósito de la compactación del concreto conocida como compactación, es alcanzar la densidad mas alta posible del concreto. El medio mas antiguo de realizar esto es por apisonamiento o picándolo, pero hoy día esta técnica se usa rara vez. El método usual de compactación es por vibración.

Cuando el concreto se acaba de colocar en la cimbra, las burbujas de aire pueden ocupar entre 5 por ciento y 20 por ciento del volumen total. La vibración tiene efecto de hacer fluido el mortero de la mezcla, de modo que la fricción interna se reduce y ocurre el empaclado del agregado grueso.

Curado

Es el proceso mediante el cual se propicia un ambiente de humedad y temperatura adecuados por un periodo determinado, para favorecer la hidratación del cemento hidráulico y, en su caso, de los materiales cementantes en la mezcla. (Norma Mexicana NMX-C-155- ONNCCE-2004).

El curado es el nombre que se da a los procedimientos utilizados para promover la hidratación del cemento; consiste en un control de temperatura y en el movimiento de humedad, a partir de la superficie, hacia dentro del concreto. El objeto del curado es mantener saturado el concreto, o tan cercanamente saturado como sea posible, hasta que el espacio originalmente llenado con agua de la pasta de cemento fresco se haya llenado en el grado deseado por los productos de hidratación del cemento. (concreto).

El tiempo de mezclado, existe una tendencia a mezclar el concreto tan rápidamente como sea posible, y es importante , por tanto , cual es el mínimo

tiempo de mezclado necesario para producir un concreto de composición uniforme y como resultado, de resistencia satisfactoria. Este tiempo varia con el tipo de mezcladora lo que constituye el criterio de mezclado adecuado. Unas 20 revoluciones son suficientes. (concreto)

Resistencia del concreto, es considerado que la propiedad mas valiosa del concreto es su resistencia, aunque en muchos casos prácticos, otras características tales como la durabilidad o la permeabilidad pueden ser mas importantes. No obstante, la resistencia suele dar una imagen general de la calidad de concreto por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento hidratada. Mas aun, la resistencia del concreto es, casi invariablemente, un elemento vital del diseño estructural y se especifica con fines de cumplimiento.

Relación agua/cemento (considerada en peso), esto es una razón matemática, que experimentalmente indica que en un concreto entre más pequeña es esta relación su estructura es más compacta (menos porosa) y por lo tanto su resistencia y durabilidad es mayor.

Prueba de revenimiento: Esta prueba mide la consistencia del concreto pero no su resistencia: la consistencia de la mezcla nos presenta el grado de trabajabilidad, así que una mezcla seca es una mezcla con un revenimiento bajo, muy dura para trabajar, una mezcla con revenimiento alto es una mezcla muy fluida, muy blanda para trabajarla, es decir que entre más alto es el revenimiento más aguada es la mezcla. A veces es contra productivo pasarse de agua pero para eso existen normas y procedimientos de dosificación (ACI 116 R-90). Esta norma la describe como una medida de consistencia, y es muy útil en la revelación de variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones nominales dadas.

Variabilidad de la resistencia del cemento.

La variación en la resistencia del cemento se debe mayormente a la escasez de uniformidad en las materias primas utilizadas en su manufactura, no solo entre diferentes fuentes de suministro, así mismo en la fabricación del concreto se presentan variaciones importantes cuando la homogeneización con sus agregados no es uniforme y proporcional. Además, las diferencia en detalles del proceso de manufactura y, sobre todo, la variación en el contenido de ceniza del carbón utilizado para quemar en el horno contribuyen a la variación en las propiedades de los cementos comerciales. Esto no es negar que la manufactura moderna del cemento es un proceso altamente perfeccionado.

La variación en la resistencia de un concreto elaborado es mayor cuando proviene de diferentes fábricas, que cuando una sola es el proveedor.

Análisis estadístico.

Notación (ACI 214R-11).

Donde:

F_{cr} = Resistencia promedio requerida para asegurarse de que solo aquella porción permisible de pruebas caerá por debajo de la resistencia especificada.

$f'c$ = Resistencia especificada.

n = Número de pruebas.

R = Intervalo.

$\bar{R}$ = Intervalo promedio.

σ = Desviación estándar.

σ_1 = Desviación estándar dentro de la prueba.

V = Coeficiente de variación.

t = Multiplicador constante para la desviación estándar (σ) que depende del número de pruebas que se espera caigan por debajo del $f'c$.

V_1 = Coeficiente de variación dentro de la prueba.

X_i = Un resultado individual de la prueba.

$\bar{X}$ = Promedio de los resultados de la prueba.

Δ = Intervalo de clase.

d = Constante que depende del número de especímenes por muestra.

Control estadístico.

Un concepto muy importante que hay que tener en cuenta actualmente es que los métodos de diseño estructural en concreto son probabilísticos.

Al ser el concreto un material heterogéneo, está sujeto a la variabilidad de sus componentes así como a las dispersiones adicionales por las técnicas de elaboración, transporte, colocación y curado en obra.

La resistencia del concreto bajo condiciones controladas sigue con gran aproximación la distribución probabilística Normal.

Se puede suponer que en proyectos controlados, las resistencias de las muestras de prueba del concreto, asumirán un patrón similar a la curva de distribución normal de frecuencia tal como se muestra en la figura 5 y figura 6.

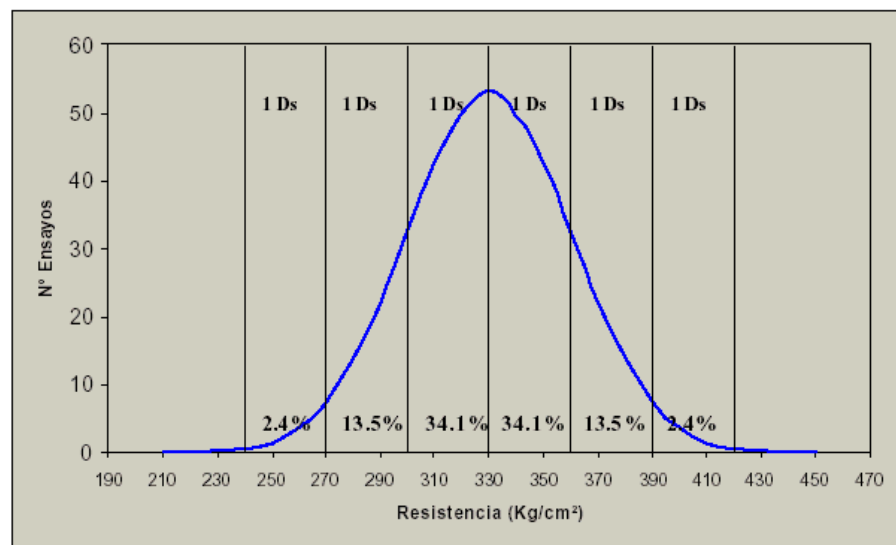


Figura 5. Curva de distribución normal (ACI 214R-11).

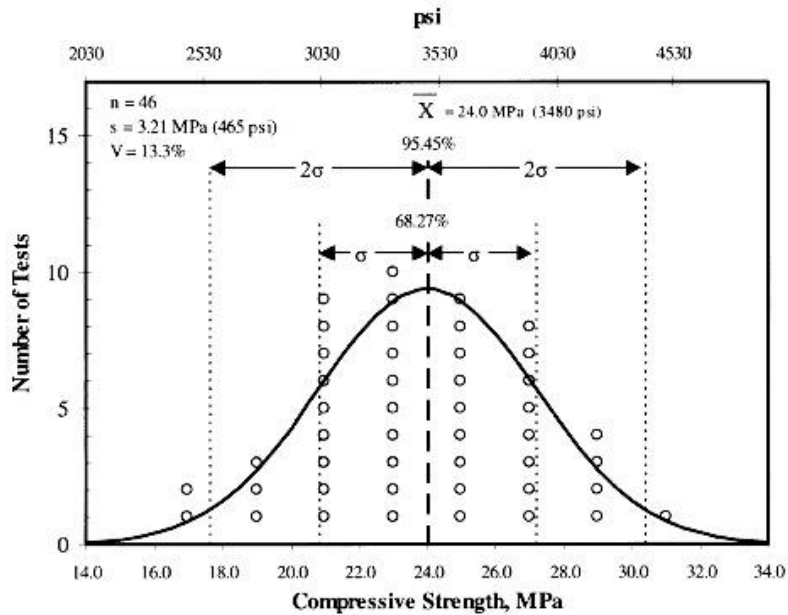


Figura 6. Curva de distribución de normal de frecuencias (ACI 214R-11).
El área total limitada por la curva y el eje x vale 1.

Hoy en día está demostrado que el comportamiento de la resistencia del concreto a compresión se ajusta a la Distribución Normal (Campana de Gauss), cuya expresión matemática es:

$$y = \frac{n}{\sigma} * \Delta * \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-t^2}{2}} \right) \text{----- Ecuación 1}$$

Dónde: $\pi = 3.14159$ y $e = 2.71828$ Ambas son constantes matemáticas.

$$t = \frac{(\bar{x} - x)}{\sigma}$$

σ = Desviación Estandar

n = n° total de muestras ensayadas

Δ = es el intervalo de clase para el eje x (5, 10, ó 15) según convenga

Al graficar la ecuación anterior obtenemos una gráfica especial el cual tiene algunas características:

- Es simétrica con respecto a μ (la media).
- Es asintótica respecto al eje de las abscisas.
- La forma y tamaño va a depender de σ (desviación estandar).

El siguiente gráfico muestra la curva normal para diferentes valores de σ , teniendo un mismo μ entonces podemos concluir que a medida que aumenta la σ , el grado de dispersión que existe entre las resistencias de las probetas es mayor y por tanto tienden a alejarse del promedio (ver fig. 7):

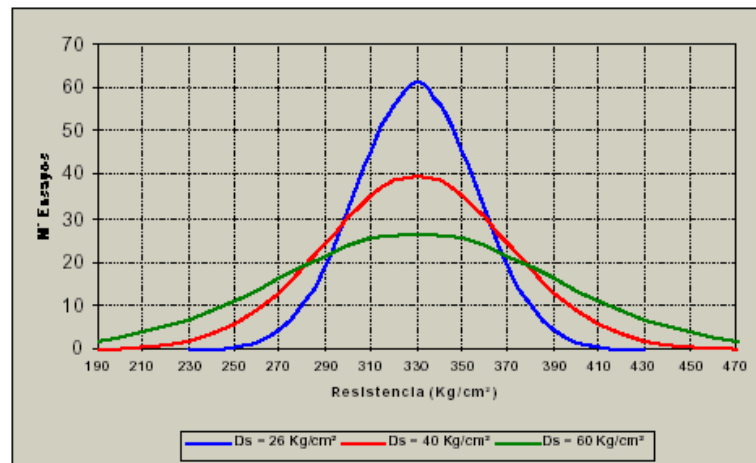
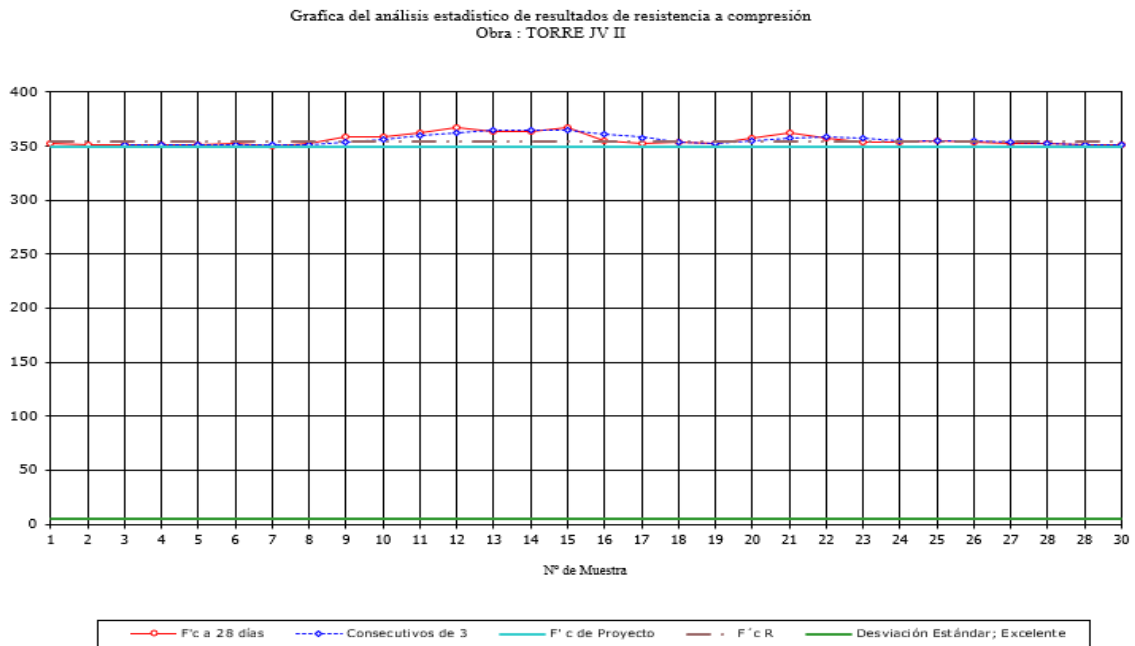
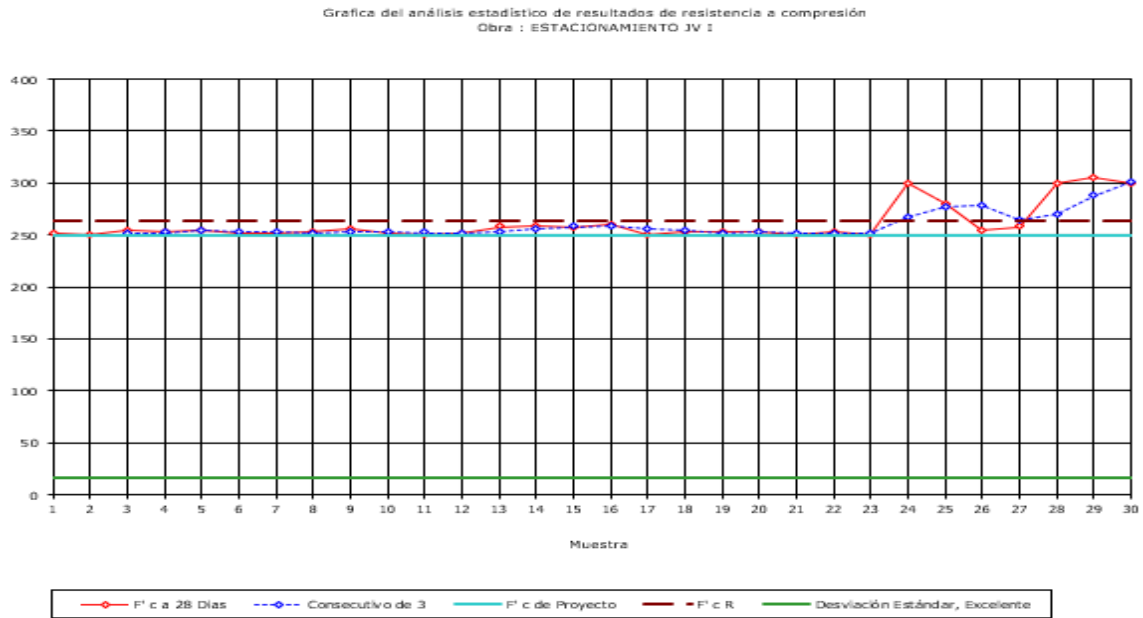


Figura 7.- Curva normal de frecuencias para diferentes distribuciones de resistencia (ACI 214R-11).

Cartas de control.

Estas cartas se manejan normalmente en la obra y son emitidas por la supervisión son muy prácticas (*normas N.LEG.3 y N.LEG.4 ejecución de supervisión de obras*). Son gráficas como las mostradas en la fig. (8) en las que en uno de los ejes se muestran los valores del parámetro estadístico y en el otro se indica el número de muestra, según el tipo de formato que se utilice, asociado a la característica medible o contable bajo control. En ella se grafican los valores de dicho parámetro obtenidos de cada muestra; uniéndolos con líneas los puntos dibujados se obtiene una poligonal abierta denominada *gráfica de tendencias*; estos límites estadísticos, corresponden exclusivamente al proceso de producción que se controla, de tal forma que es apreciable cuando los valores de los parámetros estadísticos obtenidos están dentro o fuera de la

zona de aceptación y por lo tanto identificar si se tienen variaciones debidas a causas aleatorias.



Grafica 1 y 2.- Cartas de control estadístico o gráficas de tendencias.

Donde existe un buen un buen control, los valores de la resistencia estarán agrupados cerca de la media y la curva (gauss) será alta y estrecha.

Conforme aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se apartan y la curva se vuelve baja y alargada.

Las características de estas curvas se pueden definir matemáticamente y es posible calcular ciertas funciones útiles de la resistencia con las siguientes expresiones:

Promedio ($\bar{X}$). La resistencia promedio de todas la pruebas individuales:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad \text{--- --- --- --- --- Ecuación 2}$$

La ecuación anterior se refiere a que una prueba se define como la resistencia promedio de todos los cilindros de la misma edad elaborados de una muestra tomada de una única mezcla de concreto.

Desviación estándar (σ). La medida de dispersión más generalmente reconocida, es la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de las resistencias, respecto a la resistencia promedio, divididas entre el número de resultados menos uno. Esta estadística es conocida como la desviación estándar y puede considerarse como el radio de giro alrededor de la línea de simetría del área bajo la curva de distribución de frecuencia de los datos de resistencia, tal como se muestra en la figura (3).

El mejor cálculo de la Desviación estándar (σ), basado en una cantidad finita de datos, se obtiene mediante la ecuación 3, o mediante su equivalente algebraica, la ecuación 3.a. Esta última ecuación es preferible para propósitos de cálculo porque es más sencilla y evita problemas de errores de aproximación:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}}{n - 1} \quad \text{--- --- --- --- --- Ecuación 3}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{-----Ecuación 3. a}$$

Coeficiente de variación (v). La desviación estándar expresada como porcentaje de la resistencia promedio, se llama coeficiente de variación:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \text{-----Ecuación 4}$$

Intervalo (R). El intervalo es la estadística que se obtiene restando el menor de un conjunto de números del más alto del grupo. Por lo tanto el intervalo dentro de la prueba se obtiene restando la menor de las resistencias del conjunto de cilindros promediada, para formar una prueba a partir de la más alta del grupo. El intervalo dentro de la prueba es útil en el cálculo de la desviación estándar inherente a la prueba.

Variación inherente a la prueba (tabla I).- La variación en la resistencia del concreto dentro de una prueba única se obtiene calculando la variación de un grupo de cilindros elaborados de una muestra de concreto tomada de una mezcla determinada. Es razonable suponer que una mezcla de prueba de concreto es homogénea y que cualquier variación entre dos cilindros compañeros, elaborados de una muestra determinada es ocasionada por las variaciones en la fabricación, el curado y la prueba.

Tabla I.- Factores para calcular la desviación estándar inherente a la prueba. (ACI 214R-11).

N° de cilindros	D	1/d
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946

7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

No obstante, una única mezcla de prueba de concreto, no proporciona los datos suficientes para el análisis estadístico, y se requieren cilindros compañeros de por lo menos diez muestras de concreto a fin de establecer los valores confiables para $\bar{R}$. La desviación estándar dentro de la prueba y el coeficiente de variación puede calcularse convenientemente como sigue:

$$\sigma_1 = \frac{1}{d} * 100 \text{ — — — — — Ecuación 5}$$

$$V_1 = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \text{ — — — — — Ecuación 6}$$

Dónde:

σ_1 = Desviación estandar dentro de la prueba

V_1 = Coeficiente de variación dentro de la prueba

Capitulo III.- Marco Metodológico

III.1.- Normas de control.

La decisión relativa en cuanto a que si la desviación estándar o el coeficiente de variación es la medida apropiada de dispersión que debe utilizarse en determinada situación, depende de cuál de las dos medidas es la constante más cercana a las características de resistencia, a través de un intervalo de resultados, de esa situación en particular. La siguiente información indica que la desviación estándar permanece como una constante más aproximada, en especial en resistencias superiores a 200 kg/cm². Se considera más aplicable el coeficiente de variación para las variaciones dentro de la prueba.

La tabla N° II nos muestra la variabilidad que puede esperarse de las pruebas de resistencia a la compresión en proyectos sujetos a diferentes grados de control.

Tabla N° II.- Normas para el control del concreto (ACI 214R-11). Desviación estándar (kg/cm²). Variación total (del universo).

Clase de operación:	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en campo	<25	25-35	35-40	40-50	>50

Variación en las pruebas (ensayos).

Coeficientes de variación (%).

Clase de operación:	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en campo	<3	3-4	4-5	5-6	>6

III.2.- Criterios.

Aspectos generales.

En el análisis estadístico aplicable conforme a la norma ACI 214R-11 para evaluar la calidad de los concretos, debe calcularse la desviación estándar dentro de la prueba (σ_1), y utilizar el factor $(1/d)= 0.8865$ de la tabla n° I, en virtud de que el promedio de las resistencias de cada muestra es de dos cilindros compañeros en todos los casos que refiere el presente trabajo.

Para calcular la resistencia requerida (F_{cr}) se utiliza la formula $F_{cr} = f'c + (t * \sigma)$

Dónde: $t = 1.28$ -----Tabla n° III, ya que al no diseñar la resistencia de los concretos en los que se pretende evaluar la calidad, debemos suponer el

caso más crítico en las posibilidades de que las pruebas caigan por debajo del límite inferior.

Tabla N° III.- (ACI 214R-11).

Porcentajes de pruebas que caen dentro de los límites $x \pm t\sigma$	Probabilidad de que caigan por debajo del límite inferior	t
40	3 en 10	0.52
50	2.5 en 10	0.67
60	2 en 10	0.84
68.27	1 en 6.3	1.00
70	1.5 en 10	1.04
80	1 en 10	1.28
90	1 en 20	1.66
95	1 en 40	1.96
95.45	1 en 44	2.00
98	1 en 100	2.33
99	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

Para observar el grado de calidad en el control de los concretos se utilizará la tabla N° II en relación a la desviación estándar de una población finita y al coeficiente de variación en los ensayos.

Haciendo referencia a los gráficos de distribución de resistencias cabe aclarar que teóricamente, las colas de la curva normal nunca tocan el eje de las abscisas, sino que se extienden infinitamente en ambas direcciones. Tanto el supuesto de rango infinito como el de continuidad permiten asegurar que, en la práctica, las observaciones jamás se distribuyen de manera perfectamente normal. Sin embargo muchas distribuciones empíricas se acercan a la normalidad aunque sean discretas. Con frecuencia esta aproximación es tan

cercana a la normalidad que se puede tratar como normal una distribución empírica sin menoscabo de la precisión, pero se hace necesario de alguna manera ajustar una curva para delimitar las resistencias que quedan dentro y fuera del área bajo la curva, esto por un lado, y por el otro, estandarizar los valores de “x” para definir los porcentajes de área.

“La transformación z”, en estadística se entiende por transformación de un conjunto de operaciones aritméticas que se realizan sobre los valores de una variable para obtener un nuevo conjunto de valores. El procedimiento conocido como estandarización, consiste en convertir datos (aritméticos) como los que hasta ahora hemos manejado, en datos estándar.

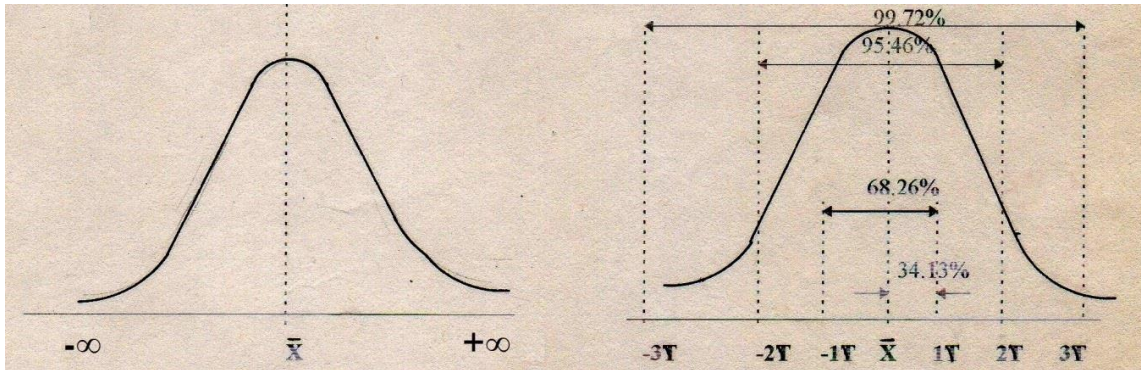
III.3.- Procedimiento.

- 1).- Se resta la $\bar{x}$ de cada dato de x
- 2).- Se divide la diferencia ($x - \bar{x}$) entre la desviación estándar de la distribución.

Simbólicamente un dato estandarizado está dado por $z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$, así al convertir todas las categorías en datos z (*Estandar*), obtenemos una distribución nueva en la cual la media y la desviación estándar valen siempre cero y uno respectivamente.

La distribución normal, es una distribución acampanada y continua, como se ve en la figura (6). Debido a su continuidad, se traza como una curva suave y no como histograma. Ahora bien, puesto que la $\bar{X}$ y la σ varían de una distribución a otra, no hay sino muchas distribuciones normales. Lo que les da el carácter normal es que tienen la misma proporción de área bajo la curva en ciertas ordenadas. Esto significa que si dibujamos las líneas verticales en +1 y -1 desviaciones estándar, por ejemplo, en dos distribuciones normales cualesquiera, la proporción con respecto a la distribución total limitada por las líneas verticales será la misma en ambas distribuciones.

Así que podemos buscar la proporción o parte del área total bajo la curva que será la misma en todas las distribuciones (figura 8).



Figuras 8.- Distribución acampanada y continua con porcentajes de área.

La utilidad de una distribución “z” que tiene una forma normal, ha hecho que se construyan tablas que muestran el área bajo la curva limitada por dos ordenadas cualesquiera. Estas tablas (Anexo) pueden ser usadas en todo conjunto de datos distribuidos normalmente, luego de haber sido estandarizados. (Tesis: Vernet, Junio 2014)

III. 4 Desarrollo de la Investigación

Técnicas e Instrumentos

Ejercicio de Análisis Estadístico.

Del formato de Análisis tomamos el siguiente ejemplo ubicado en la hoja No. 21 del Capítulo IV se consideran 30 resultados como universo mínimo de nuestras tal como indica la norma ACI214R-II.

Consideramos que cada muestra de los que aparecen en el formato de análisis fue promediada de dos cilindros a edad de 28 días ensayados.

Ejemplo, de las columnas de la Torre JV II donde:

Muestra 1. El promedio de 352 fue el resultado de 2 cilindros ensayados cuyos valores fueron:

Cilindro 1 → 252 kg/cm²

Cilindro 2 → 351 kg/cm²

Entonces partimos de los datos de laboratorio “muestra” y “promedio” de aquí obtenemos los siguientes resultados tal como lo solicita el formato:

Consecutivo de 3 muestras:

Ejemplo:

promedio

Muestra 1 → 352

Muestra 2 → 351

Muestra 3 → 351

Σ1054

Promedio: 1054 / 3 = 351.33

redondeando: 351

y así sucesivamente se continua con el total de las muestras.

Siguiente dato f'c de proyecto:

Este se obtiene directamente de las especificaciones del proyecto estructural = 350 kg/cm² para columnas de la torre JV II

Identificamos del universo de resultados en la columna “promedio”, cual de los 30 valores es el mínimo = 350 (ubicado en la muestra 7)

Identificamos un valor máximo en la misma columna, el cual es 367 ubicado en la muestra 12 y 15.

Luego n= numero de muestras = 30

Obtenemos estadísticamente la media $\bar{X}$

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad \text{--- -- -- -- -- -- -- -- Ecuación 2}$$

$$\bar{X} = \frac{x_{1(352)} + x_{2(351)} + x_{3(351)} + \dots + x_{n(351)}}{30} \quad \text{--- -- -- -- -- -- -- -- Ecuación 2}$$

$$\bar{X} = 356$$

Calculamos la Desviación Estándar:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots (x_n - \bar{x})^2}}{n - 1} \text{ ----- Ecuación 3}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{(352 - 356)^2 + (351 - 356)^2 + \dots (351 - 356)^2}}{30 - 1}$$

$$\sigma = 5$$

de acuerdo con la tabla No. II de la página 27 de la Norma ACI-214R-11 y analizando los parámetros de las diferentes desviaciones estándar observamos que 5 se encuentra entre 0 y 25 por lo tanto indica que su desviación estándar es EXCELENTE y por lo tanto esto se refleja en la calidad de los concretos analizados.

Ya podemos calcular la resistencia requerida F_{cr}

Entonces:

$$F_{cr} = f'_c + (t * \sigma)$$

F_{cr} = Resistencia del concreto requerida.

f'_c = Resistencia del concreto especificada en proyecto.

$$t = 1.8$$

σ = Desviación Estándar

Consideramos el factor $t = 1.8$ considerando que de cada 10 pruebas ensayadas, solo una nos caiga por debajo de lo especificado en proyecto.

Esto es solo una recomendación normativa (por lo que se esta escogiendo la situación más crítica).

$$F_{cr} = 350 \frac{kg}{cm^2} + (1.8 * 5) = 354 \text{ kg/cm}^2$$

calculamos el coeficiente de variación, en realidad este es un coeficiente de "error" y se obtiene en porcentaje.

Coeficiente de Variación

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

$$v = \frac{5}{356} * 100$$

$$v = 1.4$$

redondeando

$$v = 1$$

de acuerdo con los parámetros de los coeficientes de variación que indica la norma ACI 214R-11 dice que cuando $v < 3$ la variación es EXCELENTE, por lo tanto aquí podemos pensar en la calidad de las pruebas ejecutadas en laboratorio, entonces decimos que el grado de confiabilidad en los resultados, es EXCELENTE.

Ahora vamos a graficar los resultados en una curva de distribución normal (CAMPANA DE GAUS).

Utilizando la ecuación:

$$y = \frac{n}{\sigma} * \Delta * \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-t^2}{2}} \right) \text{----- Ecuación 1}$$

Dónde: $\pi = 3.14159$ y $e = 2.71828$ Ambas son constantes matemáticas.

$$t = \frac{(\bar{x} - x)}{\sigma}$$

$\sigma = \text{Desviación Estandar}$

$n = n^\circ \text{ total de muestras ensayadas}$

$\Delta = \text{es el intervalo de clase para el eje de las absisas (x), según convenga 5, 10 o 15}$
para este caso elegimos $\Delta = 10$

Obtenemos la primera coordenada en X e Y de la resistencia promedio $\bar{X} = 356$

$$t = \frac{(\bar{x} - x)}{\sigma}$$

$$t = \frac{(356 - 356)}{5} = 0$$

$$y = \frac{n}{\sigma} * \Delta * \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-t^2}{2}} \right)$$

$$y = \frac{30}{5} * 10 * \left(\frac{1}{\sqrt{2} * 3.14159} * 2.71828^{\frac{-0^2}{2}} \right) = 23.94$$

calculamos la siguiente coordenada con $X = 346$

$$t = \frac{(356 - 346)}{5} = 2$$

$$y = \frac{30}{5} * 10 * \left(\frac{1}{\sqrt{2} * 3.14159} * 2.71828^{\frac{-2^2}{2}} \right) = 3.24$$

calculamos la siguiente coordenada con $X = 346$

$$t = \frac{(356 - 346)}{5} = 2$$

$$y = \frac{30}{5} * 10 * \left(\frac{1}{\sqrt{2} * 3.14159} * 2.71828^{\frac{-2^2}{2}} \right) = 3.24$$

Finalmente estandarizamos los valores de “X” (transformación Z) escogiendo el área bajo la curva que va de f’c a la $\bar{X}$ y tenemos que:

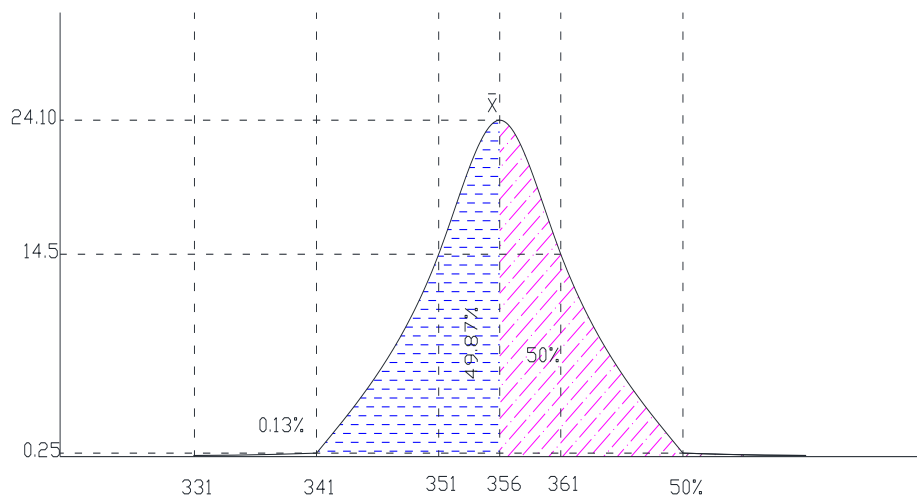


Figura 9.- Distribución acampanada en porcentaje.

Se supone que toda el área bajo la curva = 100%.

Como la campana de Gauss guarda simetría a partir de la $\bar{X}$ entonces la mitad es el 50 % del área.

$$z = \frac{341 - 356}{5} = -3$$

área bajo la curva = 4986.5/100 = 49.87%

referencia en Anexo I. Pág. 47

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
3.00	4986.5									

50% -49.87= 0.13%

Al graficar la ecuación anterior obtenemos una gráfica especial el cual tiene algunas características:

- Es simétrica con respecto a μ (la media).
- Es asintótica respecto al eje de las abscisas.

(Tesis: Vernet, Junio 2014)

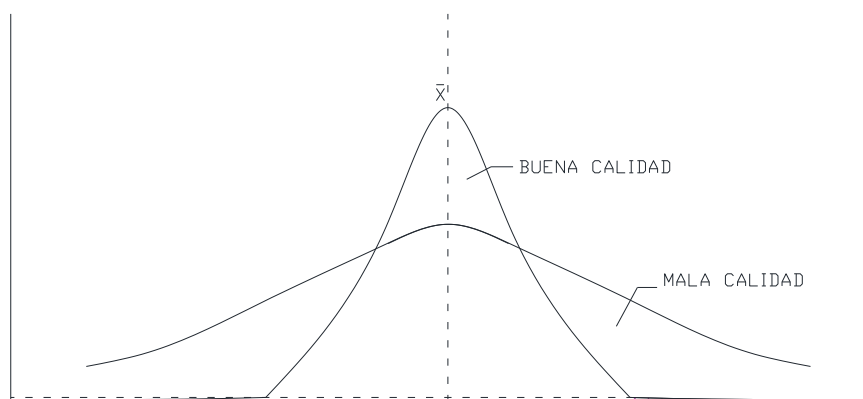
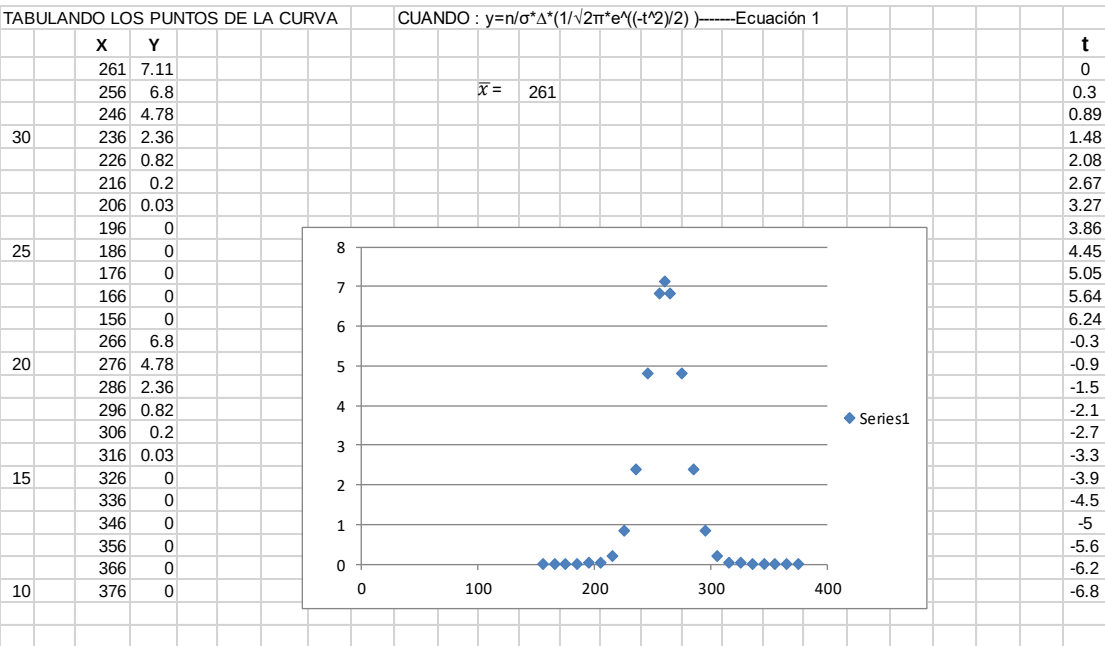
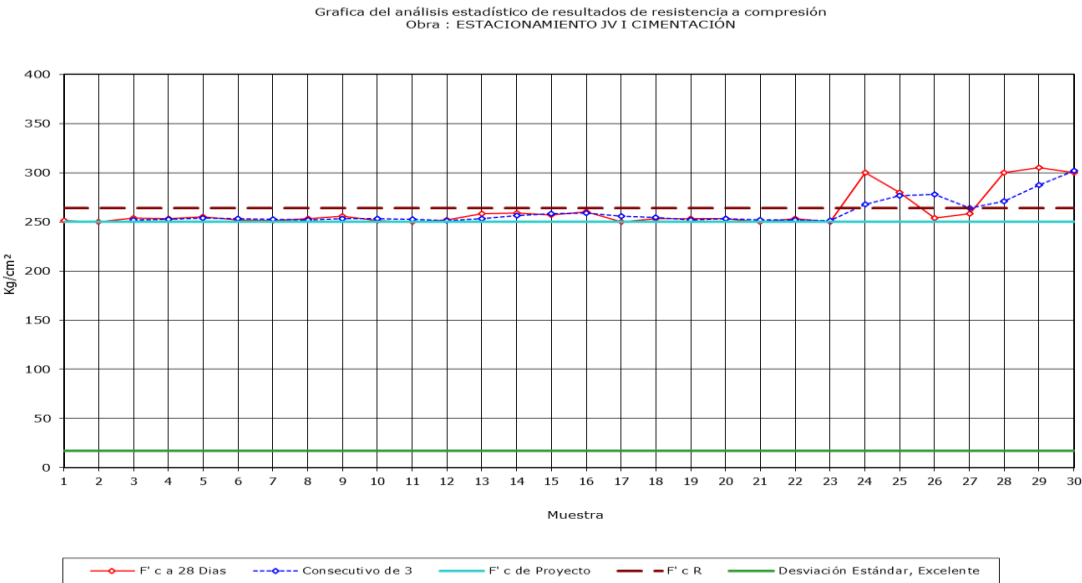


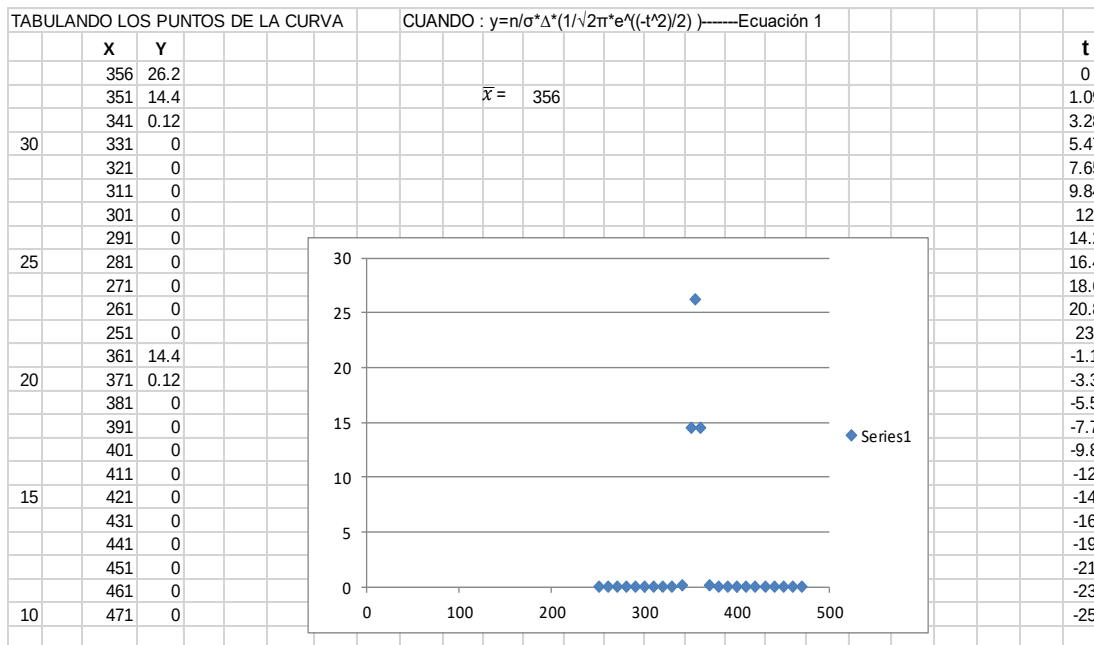
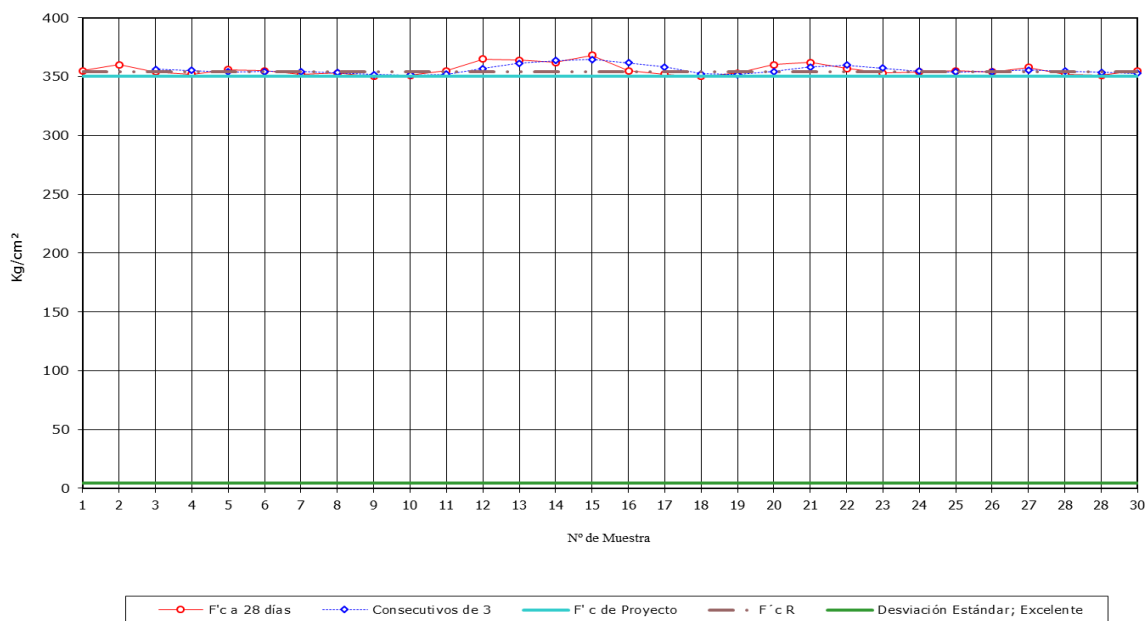
Figura 10.- Tipos de Distribución acampanada.

Capitulo IV.- Análisis y Validación de los Resultados

A continuación, se muestran las cartas de control estadístico o gráficas de tendencias de los elementos analizados en Torre Ejecutiva JV I: cimentación, columnas y losas. Además de las gráficas de curva de distribución correspondiente.



Grafica del análisis estadístico de resultados de resistencia a compresión
Obra : TORRE JV I COLUMNAS



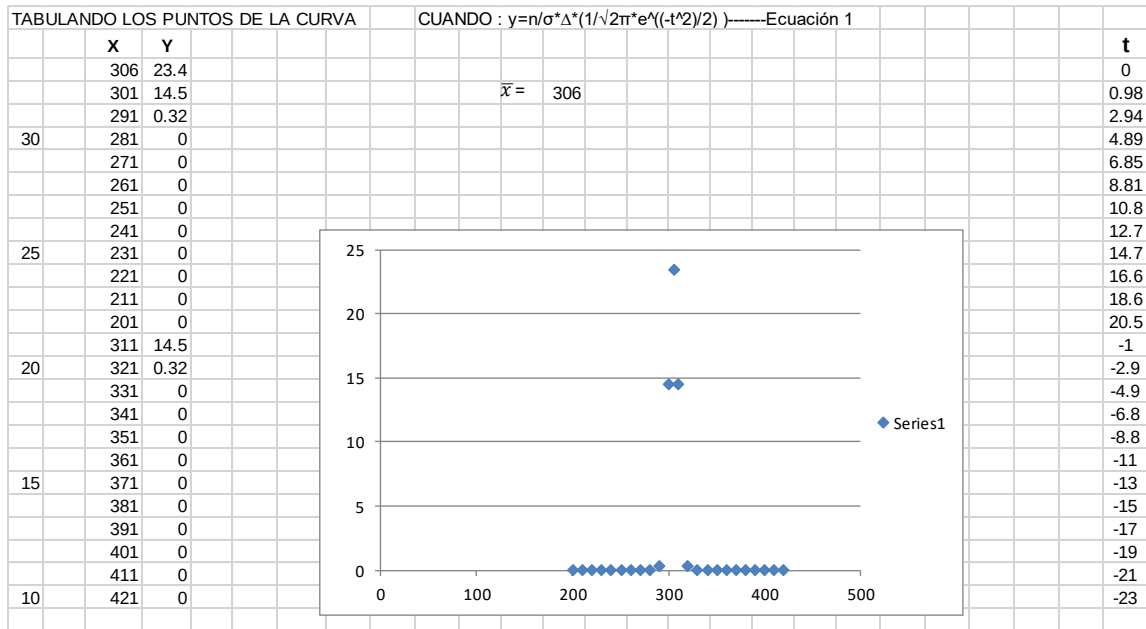
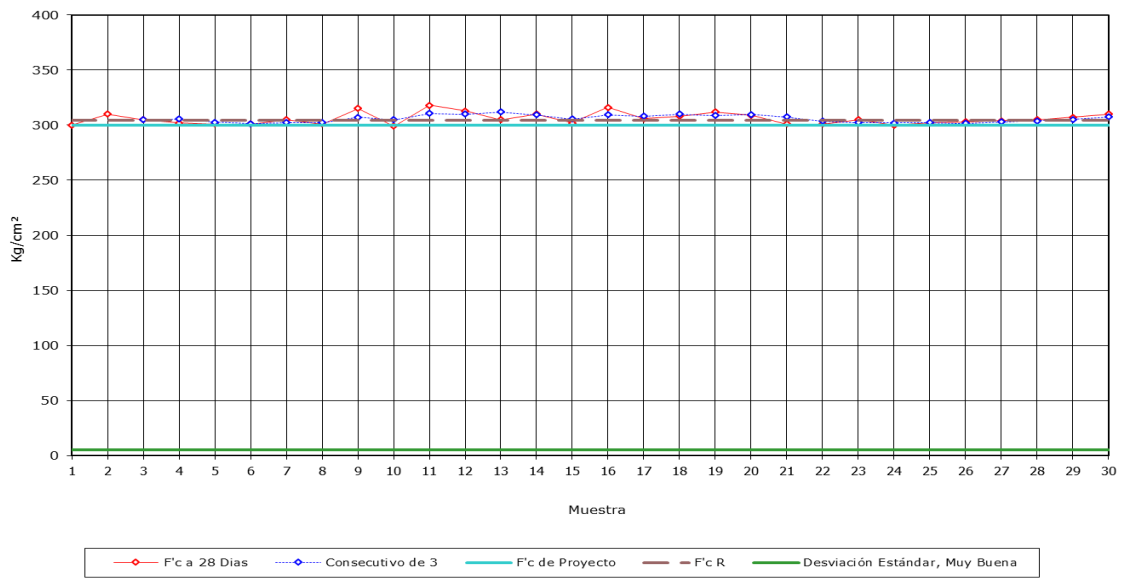
El gráfico muestra la evolución de la resistencia a la compresión (F'_c) en kg/cm^2 a lo largo de 60 muestras. El eje vertical (kg/cm^2) varía de 0 a 400. El eje horizontal (N° de Muestra) varía de 31 a 60. Se presentan cinco series de datos:

- F'_c a 14 Días: Línea roja con círculos.
- Consecutivo de 3: Línea azul punteada con triángulos.
- F'_c de Proyecto: Línea cian horizontal.
- F'_c R: Línea marrón horizontal.
- Desviación Estándar, Excelente: Línea verde horizontal.

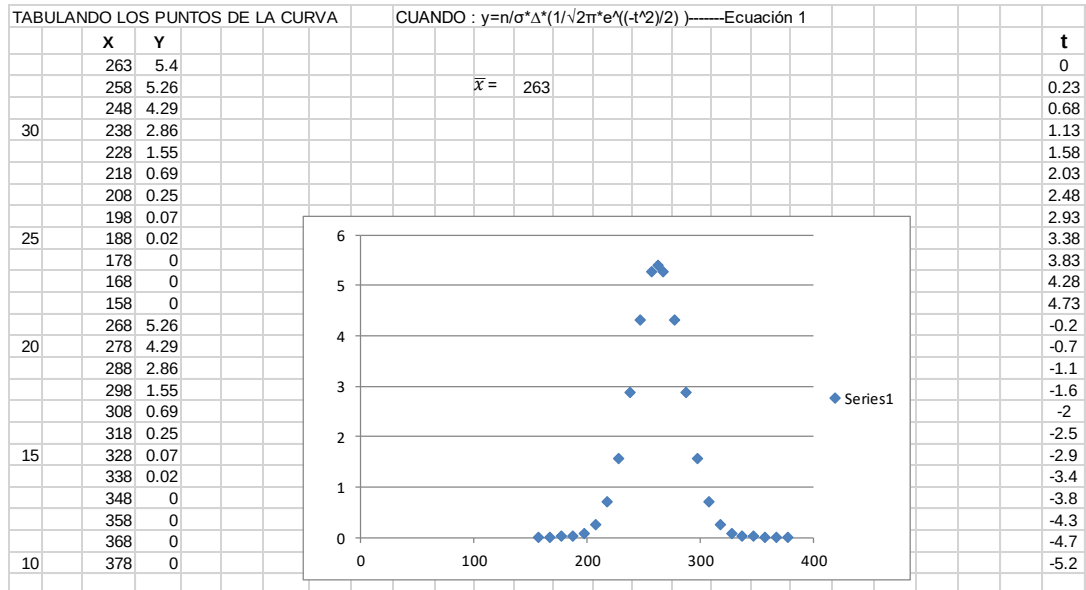
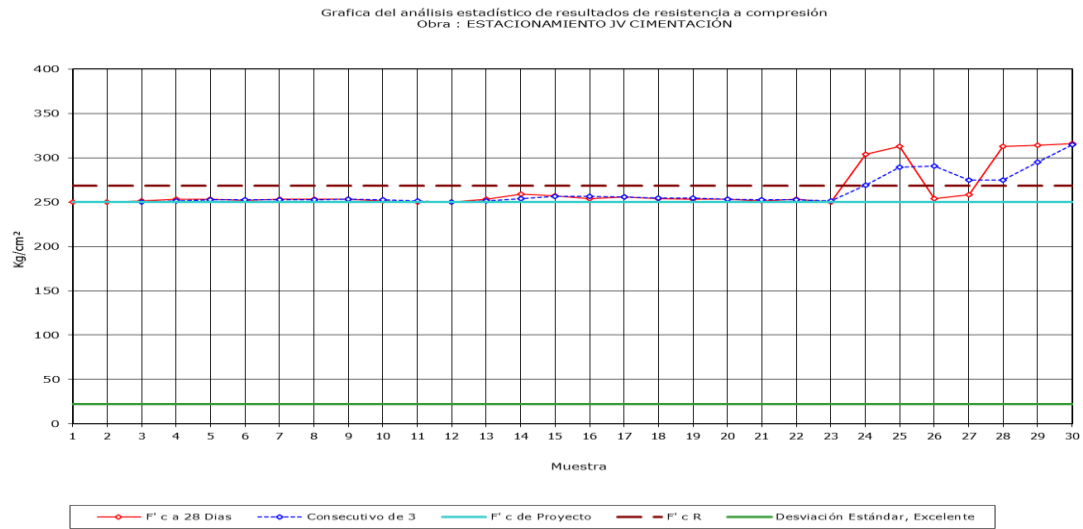
La resistencia a 14 días fluctúa entre aproximadamente 290 y 320 kg/cm^2 , generalmente manteniéndose por encima de la resistencia de proyecto y cercana a la resistencia requerida.

TABULANDO LOS PUNTOS DE LA CURVA		CUANDO : $y = n/\sigma \cdot \Delta \cdot (1/\sqrt{2\pi} \cdot e^{-(t^2/2)})$ -----Ecuación 1	
	X	Y	t
30	306	15.3	0
	301	12.5	0.64
	291	2.43	1.92
	281	0.09	3.2
	271	0	4.48
25	261	0	5.76
	251	0	7.04
	241	0	8.32
	231	0	9.59
	221	0	10.9
20	211	0	12.2
	201	0	13.4
	311	12.5	-0.6
	321	2.43	-1.9
	331	0.09	-3.2
15	341	0	-4.5
	351	0	-5.8
	361	0	-7
	371	0	-8.3
	381	0	-9.6
10	391	0	-11
	401	0	-12
	411	0	-13
	421	0	-15

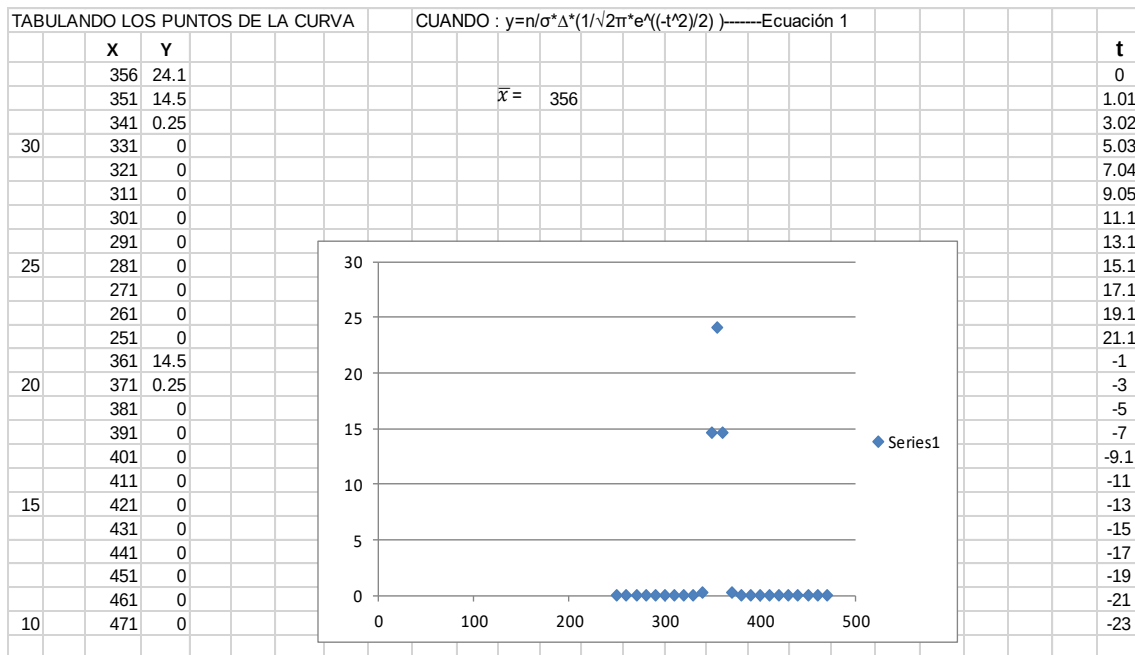
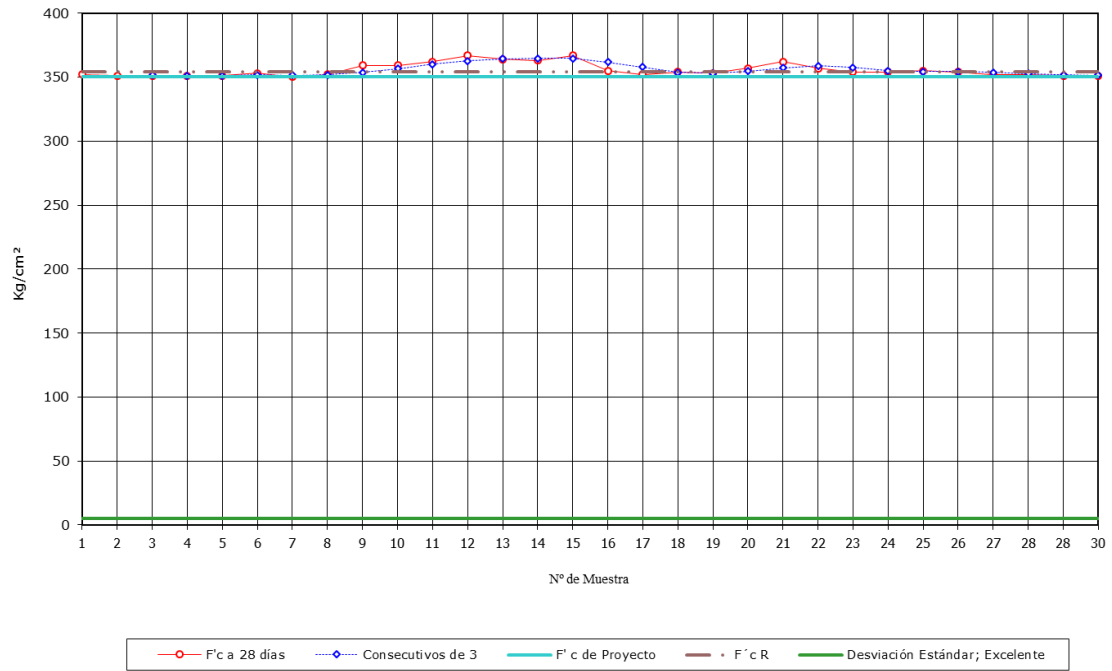
Grafica del análisis estadístico de resultados de resistencia a compresión
Obra :TORRE JV I LOSAS



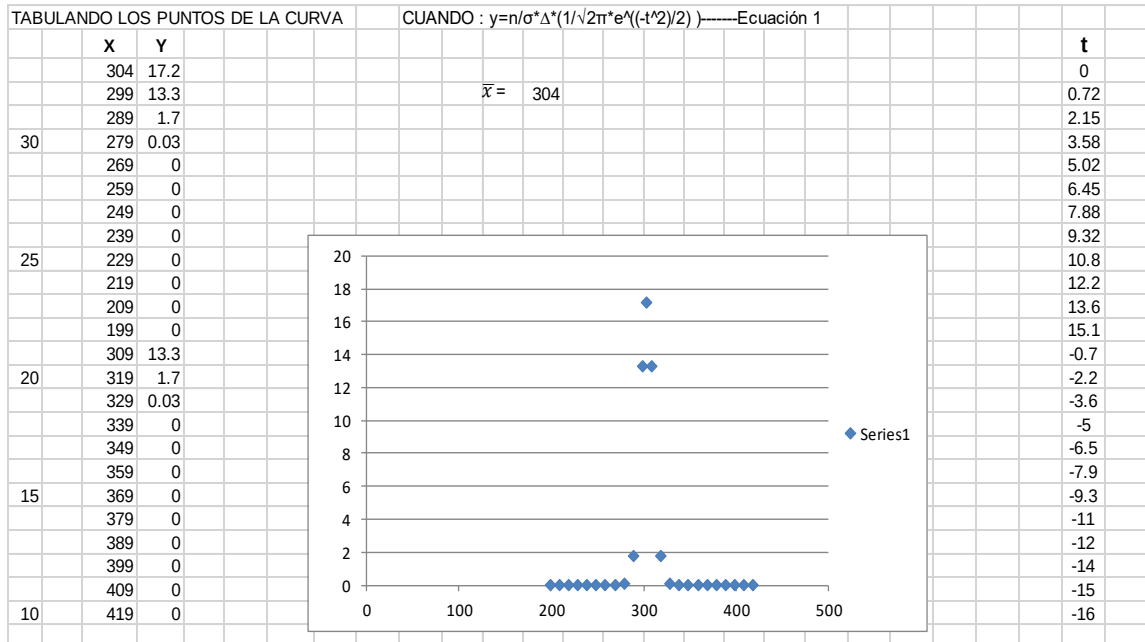
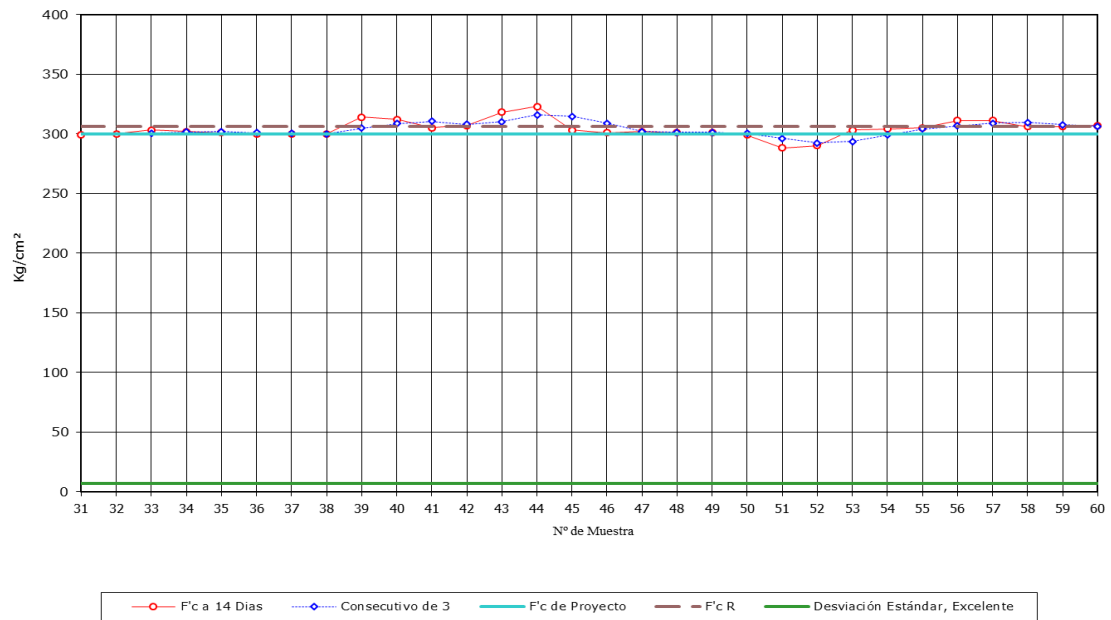
Seguido, se presentan las cartas de control estadístico o gráficas de tendencias de los elementos analizados en Torre Ejecutiva JV II: cimentación, columnas y losas. Además de las gráficas de curva de distribución correspondiente.



Grafica del análisis estadístico de resultados de resistencia a compresión
Obra : TORRE JV II COLUMNAS



Grafica del análisis estadístico de resultados de resistencia a compresión
Obra : TORRE JV II COLUMNAS



Grafica del análisis estadístico de resultados de resistencia a compresión
Obra :TORRE JV II LOSAS

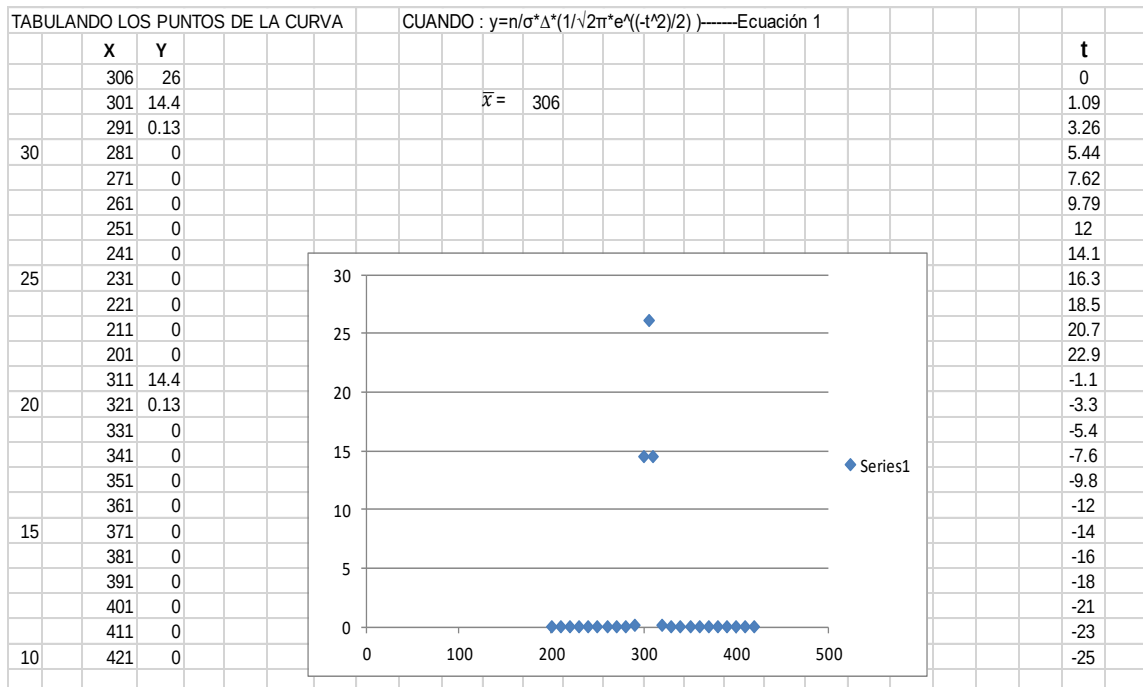
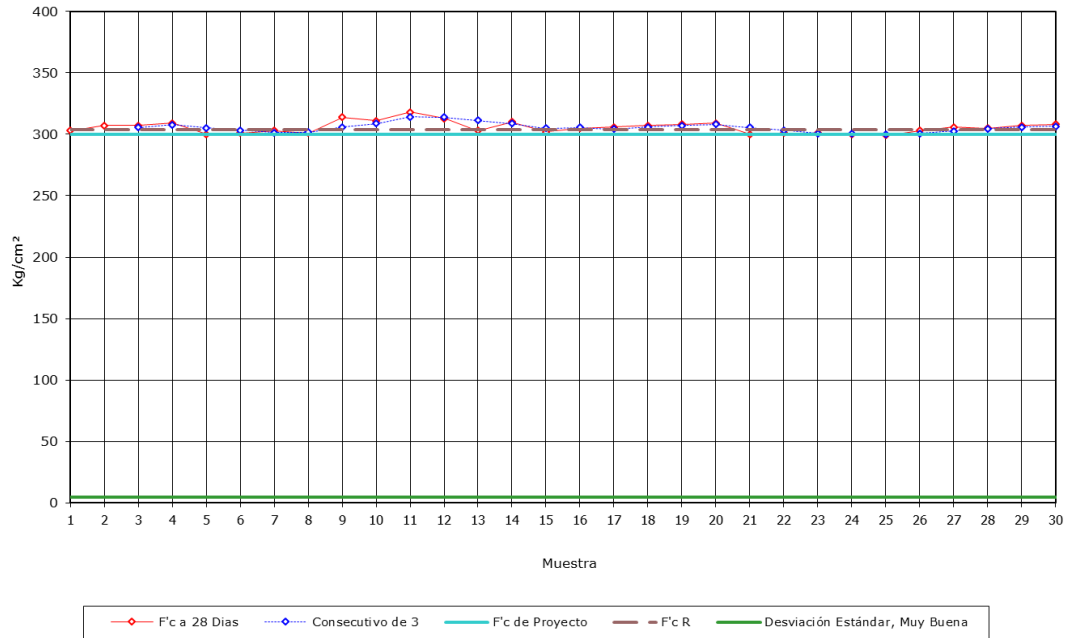


TABLA DE RESUMEN Y CLASIFICACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

EDIFICIO	ELEMENTO	F'C PROYECTO kg/cm2	DESV ESTAND. (σ) %	COEF. VARIAC. (v) %	CONTROL DE CAMPO TABLA II	CONTROL LABORATORI O TABLA II	VALORES INF. AL F'C proy (10% max.)
TORRE EJECUTIVA JV I	CIMENTACIÓN	250	17	6	EXCELENTE	POBRE	CUMPLE
	COLUMNAS	350	5	1	EXCELENTE	EXCELENTE	CUMPLE
	COLUMNAS	300	8	3	EXCELENTE	EXCELENTE	CUMPLE
	LOSAS	300	5	2	EXCELENTE	EXCELENTE	CUMPLE
TORRE EJECUTIVA JV II	CIMENTACIÓN	250	22	8	EXCELENTE	POBRE	CUMPLE
	COLUMNAS	350	5	1	EXCELENTE	EXCELENTE	CUMPLE
	COLUMNAS	300	7	2	EXCELENTE	EXCELENTE	CUMPLE
	LOSAS	300	5	2	EXCELENTE	EXCELENTE	CUMPLE

Conclusiones/recomendaciones/propuesta

Conclusiones

1. De los resultados obtenidos en campo, las variaciones en las resistencias del concreto fabricado en obra estuvieron controladas del rango muy bien a excelente.
2. Gráficamente se confirma que las dispersiones de las resistencias se encontraban cerca de la media y las curvas fueron largas y angostas.
3. La variación de los ensayos de cilindro a cilindro reflejaron que el grado de calidad no fue uniforme, ya que algunos % <6 (calidad pobre)
4. Cualquier valor por debajo del f'_c de proyecto no rebasa ni el 2% en los resultados obtenidos. (excelente, lo permisible debe ser <10%)

Recomendaciones

1. Controlar la calidad en concretos desde la fabricación procurando uniformizar las mezclas tanto en campo como en laboratorio.
2. Vigilar la relación agua cemento y la calidad de los agregados.
3. Contratar a laboratorios que observen las normas vigente en relación a muestreos y ensayos.

Eso no solo garantiza la calidad de concreto y materiales, da a conocer el excelente trabajo que puede brindarse a la industria de la construcción.

Bibliografía

1. Norma Mexicana NMX-C-155- ONNCCE-2004
2. Norma Americana ACI 214R-11
3. Manual M.CAL.1.02 y -03 S.C.T.
4. http://www.33docu.com/minisite/HOLCIM-APASCO/inducccion/html/manufactura_elabpremezclado.htm
5. Tecnología del concreto. Adam M. Neville IMCYC
6. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.
7. Tesis de Maestría: Método estadístico para evaluar la calidad del concreto. Ing. Wolstano Vernet López, Junio 2014.

Anexos

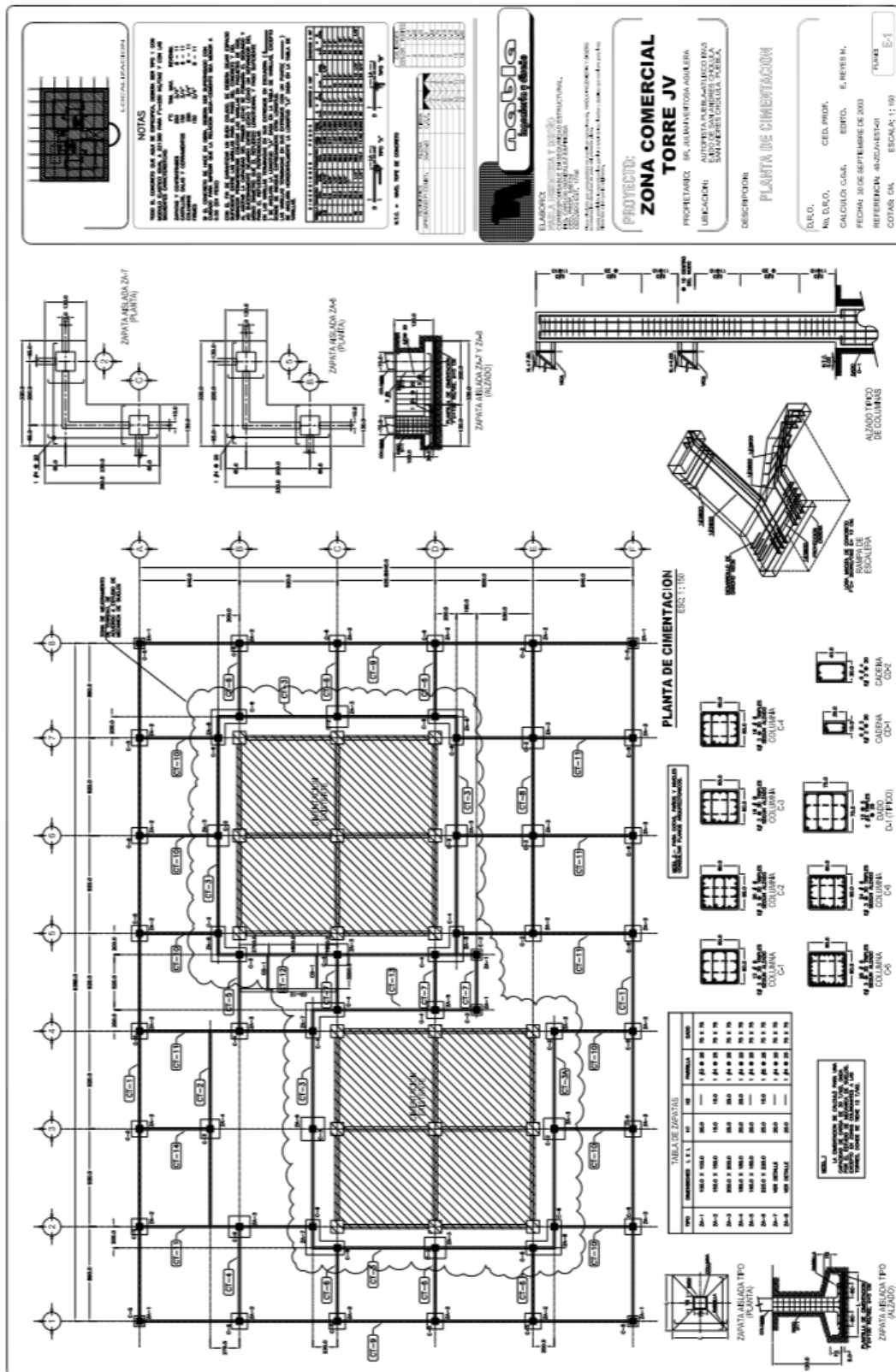
La distribución normal estandar.

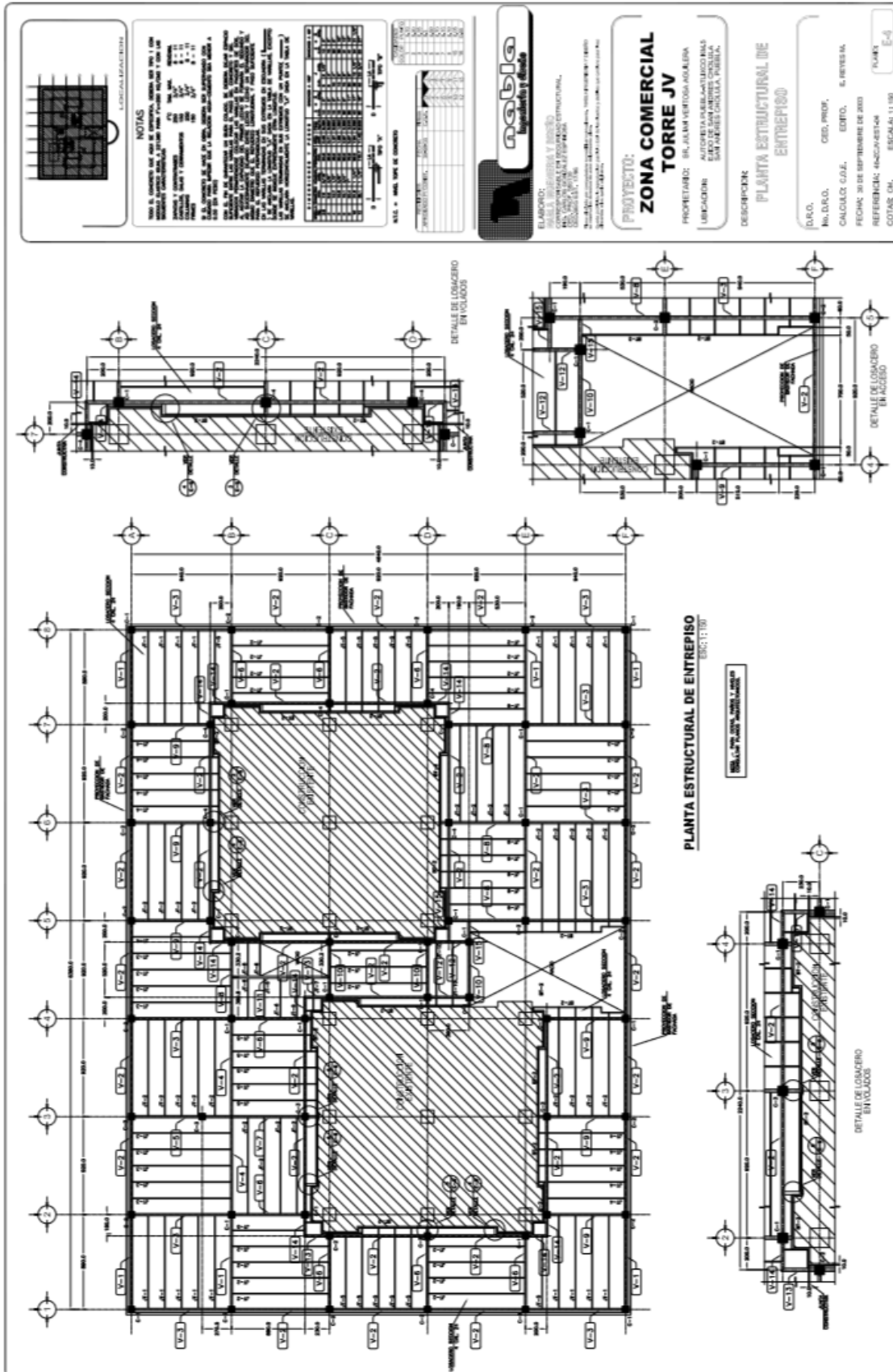
Proporciones bajo la curva normal entre la media y algún dato de Z. Aparecen con cuatro cifras decimales, sin el punto para ahorrar espacio.

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0000	0040	0080	0120	0159	0199	0239	0279	0319	0359
0.1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0.2	0739	0832	0871	0910	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0.3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0.4	1554	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0.5	1915	1950	1985	2019	2054	2088	2133	2157	2190	2224
0.6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2518	2549
0.7	2580	2612	2642	2673	2704	2734	2764	2794	2823	2852
0.8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0.9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1.0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3557	3599	3621
1.1	3643	3665	3686	3718	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1.2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1.3	4032	4049	4066	4083	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1.4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1.5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4430	4444
1.6	4452	4463	4474	4485	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1.7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1.8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1.9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4758	4762	4767

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
3.9	4999.51 9									
4.0	4999.68 3									
4.5	4999.96 6									
5.0	4999.99 7133									
2.5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2.6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2.7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2.8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4980	4980	4981
2.9	4981	4982	4983	4984	4984	4984	4985	4985	4986	4986
3.0	4986.5	4987	4987	4988	4988	4988	4989	4989	4989	4990
3.1	4990.0	4991	4991	4991	4992	4992	4992	4992	4993	4993
3.2	4993.12 9									
3.3	4995.16 6									
3.4	4996.63 1									
3.5	4997.67 4									
3.6	4998.40 9									
3.7	4998.92 2									
3.8	4999.27 7									

Planos





Fotografías



Foto 1. Concreto en cimentación



Foto 2. Concreto en cimentación



Foto 3. Concreto en columnas



Foto 4. Concreto en columnas y losas



Foto 5. Concreto en columnas y losas



Foto 6. Concreto en columnas y losas



Foto 7. Concreto en columnas y losas



Foto 8. Estado actual de las Torres Ejecutivas JV I y II.