

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. MARCO GENERAL**

En el marco de la misión institucional de la Gobernación del Departamento de Tarija – Sección O'Connor, como apoyo a la ejecución de proyectos de desarrollo departamental, cumpliendo los objetivos de planificación y programación, ha decidido realizar la “Construcción de Tinglados Deportivos en la Provincia O'Connor”, en ese sentido realizó la contratación de la Supervisión Técnica de Proyecto, con el propósito de poder adecuar campos deportivos de recreación y esparcimiento de la provincia, con las características y normativas necesarias para un proyecto a nivel urbano y rural.

### **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Realizar el análisis de los factores que afectan la calidad del hormigón de diversos elementos estructurales aplicando métodos no destructivos, empleando la normativa nacional vigente CBH-87.

### **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos se enumeran a continuación:

- Realizar un análisis comparativo del control de calidad del hormigón, según la Norma Boliviana CBH-87 y otras normativas internacionales.
- Establecer las posibles causas probables para que la calidad del hormigón de la muestra se haya visto afectada.
- Establecer las recomendaciones que según normativa se puede realizar para validar resultados del control de calidad que podrían ser erróneos o que indiquen una mala calidad del hormigón.

## **2. IMPORTANCIA DEL TEMA DE TESIS**

### **2.1. JUSTIFICACIÓN**

Desde que se comenzó con la producción de bienes, se han hecho intentos en controlar el proceso de manera de mejorar la calidad y los costos. Walter A. Shewhart reconoció que dentro de un proceso de fabricación, no hay solamente variables naturales inherentes al proceso en sí, que afectan la calidad sino también variaciones que se pueden explicar.

Es posible establecer límites para la variación natural de cualquier proceso, de manera que las fluctuaciones dentro de esos límites, pueden ser explicados por causas aleatorias, pero cualquier variación por fuera de estos límites, variaciones especiales, representarían un cambio en el proceso en desarrollo.

Se pueden explicar estos conceptos a la producción de hormigón con el propósito de lograr una resistencia a la compresión especificada.

Las variaciones naturales existen en el proceso, debido a la variación en las materias primas (granulometría de los agregados, composición química, precisión en los pastones, comportamiento de la mezcladora, muestreo y ensayos).

Las causas de variación, fuera de las naturales, podrían ser debido al cambio de los materiales componentes, la exactitud de las balanzas, personal nuevo, problemas con el equipo.

“Hay muchos factores involucrados en la producción del hormigón, desde los materiales, la dosificación de la mezcla, el transporte la colocación, el curado y los ensayos. Por eso, no debe sorprendernos de que se trata de un material variable. Ello significa que si se realizan ensayos sobre muestras de hormigón idénticas, se verifican variaciones en las propiedades mecánicas entre las diversas muestras”. (ICPA, Instituto del Cemento Portland Argentino. 2010).

Esa variabilidad se debería tener en cuenta a la hora de redactar las especificaciones.

### **3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

En la construcción de estructuras de hormigón armado en general, los ingenieros civiles en nuestro país, desde la puesta en vigencia de la norma CBH-87, han enfrentado un gran dilema al realizar el control de calidad de hormigón, al obtener resultados bajos de la resistencia característica real del hormigón, situación que obliga permanentemente al cuestionamiento de la verdadera calidad del mismo, y consecuentemente la no aceptación de las estructuras involucradas, afectando directamente en la economía del proyecto.

### **4. HIPÓTESIS**

Pero Newton no escribe la historia de la materia; él da cuenta, en el lenguaje riguroso de la matemática, de fenómenos que puede ser observados por todos: la gravedad, las mareas, el movimiento de los planetas... y todo esto sin recurrir al menor postulado de orden metafísico. “Hypotheses non fingo”, proclama Newton: “No tengo necesidad de fingir hipótesis” (Isaac Newton 1642-1727).

En el control de calidad de los hormigones (CBH-87), están involucrados diversos factores desde los componentes, preparación, puesta en obra, cuidados posteriores y los ensayos de control de calidad, estos factores que afectan la calidad del hormigón se agrupan en controlables y los que no lo son, los cuales pueden ser analizados aplicando métodos no destructivos.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1. CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN**

Cada país alrededor del mundo, adopta de acuerdo a sus necesidades y características locales, diferentes normativas respecto a la utilización del hormigón en obras públicas y privadas, con el único objetivo de lograr los valores de resistencia y calidad requeridos en las actuales condiciones de las construcciones modernas. A continuación se muestran algunas de ellas.

“Conjunto de procedimientos técnicos planeados cuya práctica permite que el concreto cumpla con los requisitos especificados al menor costo posible...aplicados en estado fresco y endurecido.” (Fernando Gastañadui Ruiz. (s.f.). Control de Calidad del Concreto. 2009).

“Se aplica a cada acción empleada para medir las propiedades del hormigón y sus materiales componentes y controlarlas dentro de especificaciones establecidas.” (ICPA – (Instituto del Cemento Portland Argentino). Control de Calidad del Hormigón. 2010).

Respecto a la Norma Boliviana CBH-87, plantea como objetivo principal que “La norma proporciona las prescripciones de obligatorio cumplimiento en el país y que deben ser observadas en el proyecto de ejecución y control de obras de hormigón armado, tanto públicas como privadas, para conseguir la seguridad, durabilidad y adecuación a las condiciones de utilización, requeridas en este caso”. (CBH-87. (s.f.). Norma Boliviana del Hormigón Armado. 1987).

### **5.2. CONTROL DE CALIDAD DEL HºAº SEGÚN CBH-87 – GENERALIDADES**

Estos ensayos son preceptivos en todos los casos. Su objeto es comprobar a lo largo de la ejecución, que la resistencia característica real del hormigón de la obra, es igual o superior a la resistencia característica especificada de proyecto.

Este control podrá realizarse según dos (2) modalidades diferentes:

- Control total (control al 100 %). Se conocen las resistencias de todas las amasadas (véase 16.5.4.2 de la CBH-87).
- Control estadístico (véase 16.5.4.3 de la CBH-87). Solo se conocen las resistencias de un cierto número de amasadas que se controlan. En este caso, en función del valor adoptado para el coeficiente parcial de seguridad  $\gamma_e$  y de acuerdo con lo indicado en 7.3, se establecen tres (3) niveles de control.
  - a) Reducido
  - b) Normal
  - c) Intensivo

En ambas modalidades, los ensayos se realizan sobre probetas ejecutadas en obra, conservadas y ensayadas según lo indicado en las normas NB/UNE 7240 y NB/UNE 7242.

### **5.3. CONTROL DE CALIDAD AL 100%**

Esta modalidad de control, es aplicable a cualquier obra y cualquiera que sea el valor adoptado para  $\gamma_c$ , de conformidad con lo dispuesto en el punto 7.3 de la CBH-87.

El control se realiza determinando la resistencia de todas las amasadas utilizadas en la parte de obra sometida a control y calculando a partir de los resultados obtenidos, el valor de la resistencia característica real del hormigón de la obra, de acuerdo a lo indicado en 5.1.1.

Para que el conjunto de amasadas sometidas a control pueda ser aceptado, es preciso que se verifique:

$$f_{c,real} \geq f_{c,k}$$

En la mayoría de las obras, no suele utilizarse este tipo de control, debido al gran número de probetas que obliga a fabricar, conservar y romper: las aplicaciones de todo orden que supone para la obra y el elevado costo que ocasiona.

Sin embargo, en algunos casos especiales, por ejemplo cuando se trata de elementos aislados de mucha responsabilidad, en cuya construcción se utiliza un número pequeño de amasadas, puede resultar de gran interés el conocimiento exacto del valor de  $f_{c,real}$  para basar en él las decisiones de aceptación o rechazo, eliminando totalmente el posible error inherente a toda estimación.

En previsión de estos casos especiales, o cualquier otro que pudiera presentarse, se regula en la presente norma (CBH-87), este tipo de control.

## **5.4. CONTROL ESTADÍSTICO**

### **5.4.1. A NIVEL REDUCIDO**

Este control se realiza determinando la consistencia de hormigones fabricados utilizando dosificaciones tipo.

Con la frecuencia que exija el correspondiente Pliego de Especificaciones Técnicas, o la indicada por el Director de Obra y nunca con menos de cuatro (4) determinaciones espaciadas a lo largo del día, se realizará el ensayo de consistencia conforme a lo prescrito en 1.6.4 de la CBH-87.

De la realización de estos ensayos, deberá quedar en obra la necesaria constancia mediante el registro de los resultados obtenidos y de las decisiones en cada caso adoptadas.

Esta modalidad de control, podrá utilizarse exclusivamente en obras en las que: la resistencia de proyecto exigida para el hormigón no sea superior a 15 MPa; se empleen dosificaciones tipo con un mínimo de 300 kg de cemento por metro cubico de hormigón y para las cuales, de acuerdo con lo indicado en 7.3 de la CBH-87, se haya adoptado en el proyecto el valor  $\gamma_c = 1.7$ .

Este nivel de control es aplicable a obras de escasa importancia en las que, no siendo fácil recurrir a laboratorios especializados, no resulta excesivamente gravoso

aumentar la dosificación de cemento, para garantizar por métodos indirectos, que habrá de conseguirse la resistencia de proyecto para el hormigón.

#### **5.4.2. A NIVEL NORMAL**

A nivel normal, de acuerdo con lo dispuesto en el punto 7.3 de la CBH-87, este nivel de control es aplicable a las obras en cuyo proyecto se ha adoptado el valor 1,5 o 1,7.

A efectos de control se dividirá la obra en partes sucesivas, cada una de las cuales habrá de ser inferior al menor de los valores señalados en la tabla siguiente, para los diferentes casos. De cada una de estas partes de obra se extraerán por lo menos dos probetas.

**Tabla 1 - Partes en que se divide la obra, a efectos del control estadístico a nivel normal**

	<b>Tipo de los elementos estructurales</b>		
	<b>Lineales (1)</b>	<b>Superficiales (2)</b>	<b>Grandes macizos (3)</b>
Por volumen .....	100 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>
Por superficie en planta .....	Elementos comprendidos en 500 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>	-
Por número de amasadas .....	100	100	1
Por tiempo (hormigón colocado en)	2 semanas	2 semanas	1 semana
Por número de pisos .....	1	1	-
(1) Edificios, puentes, naves industriales, etc.			
(2) Muros, láminas, pavimentos, etc.			
(3) Presas, grandes cimientos, etc.			

Este control, tiene por objeto determinar si el hormigón utilizado en la construcción de los diversos elementos de la estructura es aceptable, de acuerdo con los criterios establecidos en la norma CBH-87.

Se realiza comprobando la resistencia de por lo menos dos (2) amasadas, de acuerdo con lo establecido en 3.3 (CBH-87) tomadas al azar entre las destinadas a la construcción de los diversos elementos estructurales de la obra sometida a control. Si en el Pliego de Especificaciones Técnicas correspondiente, no se indica la frecuencia con la que deben hacerse estas comprobaciones, será el Director de Obra el que fije esta frecuencia.

En todo caso, el contratista podrá realizar un número de determinaciones superior al que haya sido fijado, corriendo a su cargo el sobrecosto de los ensayos suplementarios.

$$X_1 \quad X_2 \quad \dots \quad X_m \quad \dots \quad X_n$$

Se define como resistencia característica estimada en este nivel, la deducida aplicando las siguientes expresiones:

$$\text{si: } N \geq 6 ; f_{\text{est}} = K_N \cdot X_1$$

$$\text{si: } N < 6 ; f_{\text{est}} = 2 \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{m-1}}{m-1} - X_m \geq K_N * X_1$$

Siendo:

$K_N$  = coeficiente dado en la tabla 1 6 5.4.3. b. 2, en función de “N” y del tipo de instalaciones en que se fabrique el hormigón

$x_1$  = resistencia de la amasada menos resistente

N = número de amasadas

m = número de probetas: N/2 si “N” es par ó (N - 1)/2 si “N” es impar

Para que la parte de la obra sometida a este control pueda ser aceptada, deberá verificarse:

$$f_{c,\text{est}} \geq f_{c,k}$$

Tabla 2 - Valores del coeficiente Kn (CBH-87)

Uniformidad del hormigón		Excelente	Buena	Regular	Mala
Coeficiente de variación de la resistencia del hormigón ( $\delta$ )		0,10	0,15	0,20	0,25
Número de amasadas (N)	1	0,836	0,753	0,671	0,589
	2	0,884	0,820	0,753	0,682
	3	0,910	0,859	0,803	0,741
	4	0,928	0,886	0,838	0,784
	5	0,942	0,907	0,867	0,820
	6	0,953	0,924	0,890	0,850
	7	0,962	0,938	0,910	0,877
	8	0,970	0,951	0,928	0,900
	10	0,983	0,972	0,958	0,942
	12	0,993	0,989	0,984	0,976
	14	1,002	1,004	1,005	1,008
	16	1,009	1,016	1,024	1,035
	18	1,016	1,027	1,041	1,059

#### 5.4.3. A NIVEL INTENSO

De conformidad con lo dispuesto en 7.3 de la CBH-87, este tipo de control es preceptivo siempre que la resistencia de proyecto sea mayor de 25 Mpa, o cuando se adopte un valor de  $c = 1,5$ .

A los efectos de control, se dividirá la obra en partes sucesivas, con arreglo a los criterios indicados en la tabla 1, de cada una de las cuales se extraerá por los menos el número de probetas que señala la tabla 16.5.1 de la CBH-87, tomando en cuenta además lo expresado en la última parte de esta prescripción.

El control, tiene por objeto determinar si el hormigón utilizado en la construcción de las diversas partes de las obras es aceptable, de acuerdo con los criterios establecidos en la presente norma.

El control de cada parte, se realiza sobre un número “N” de determinaciones de resistencia de otras tantas amasadas, tomadas al azar de entre las utilizadas en la construcción de la parte de obra que se controla.

Obtenidas las resistencias de las “N” amasadas y ordenadas dichas resistencias de menor a mayor en la forma:

$$X_1 \quad X_2 \quad \dots \quad X_m \quad \dots \quad X_N$$

Se define como resistencia característica estimada en este nivel, la deducida aplicando la siguiente expresión:

$$f_{c,est} = 2 \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{m-1}}{m - 1} - X_m \geq K_N * X_1$$

En la cual los diferentes símbolos tienen los mismos significados explicados anteriormente al tratar del control estadístico a nivel normal.

La parte de obra sometida a este control, se aceptará siempre que se obtenga:

$$f_{c,est} \geq f_{c,k}$$

Los valores de “N” se establecerán de acuerdo con la sistemática que a continuación se indica para la aplicación de este nivel de control a la totalidad de la obra.

Al iniciar el control se tomará N = 12. Cuando en cuatro (4) lotes consecutivos con N=12, se haya obtenido aceptación ( $f_{c,est} \geq f_{ck}$ ) se tomará en los siguientes N=6. Se volverá a tomar N=12, a partir del momento en que con N=6. Se obtenga  $f_{c,est} < f_{ck}$ ; volviéndose a tomar N=6, tan pronto como en cuatro (4) lotes consecutivos con N=12, se obtenga  $f_{c,est} < f_{ck}$ .

Este proceso se repetirá cuantas veces sea necesario.

Este nivel de control, como el nivel de control normal, se basa en determinaciones de la resistencia de diversas amasadas: por lo que es de aplicación lo anteriormente comentado al respecto.

## **5.5. DECISIONES DERIVADAS DE LOS ENSAYOS DE CONTROL**

Cuando en una parte de la obra sometida a cualquier nivel de control estadístico, se obtenga  $f_{c,est} \geq f_{ck}$ , se aceptará dicha parte.

Si resultase  $f_{c,est} < f_{ck}$ , a la falta de una explícita previsión del caso en el correspondiente Pliego de Especificaciones Técnicas y sin perjuicio de las sanciones contractuales que se haya acordado, se procederá como sigue:

- a) Si  $f_{c,est} \geq 0.9 f_{ck}$ , la obra se aceptará.
- b) Si  $f_{c,est} < 0.9 f_{ck}$ , el Director de la Obra podrá disponer que se proceda a realizar a costa del constructor, los ensayos de información previstos en 16.5.5 de la norma CBH-87, o las pruebas de carga previstas en el capítulo 18 de la norma CBH-87 y según de lo que de ello resulte, decidirá si la obra se acepta, refuerza o demuele.

En caso de haber optado por ensayos de información, si esto resulta desfavorable, el Director de Obra, podrá ordenar pruebas de carga, antes de decidir si la obra se acepta, refuerza o demuele.

## **6. CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN EN OBRA**

El comportamiento estructural del concreto depende de su diseño, las buenas prácticas de colocación, cuidado posterior y el control de calidad.

“El control de calidad se define como el conjunto de acciones y decisiones que se toman con el objeto de cumplir las especificaciones de los mismos y comprobar el cumplimiento de los requisitos exigidos. Éste debe ser preventivo más que correctivo; por lo tanto es de vital importancia la realización de ensayos al concreto en estado fresco, con los que se busca garantizar el cumplimiento de las especificaciones en estado endurecido” (NTC 396-550, Norma Técnica Colombiana).

### **6.1. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO**

“La consistencia del hormigón será la necesaria para que, con los métodos de puesta en obra y compactación previstos, el hormigón pueda rodear las armaduras en forma continua y rellenar completamente los encofrados sin que se produzcan coqueras. La determinación de la consistencia del hormigón se realizará utilizando el método del ensayo descrito en la norma NB/UNE 7103.

Como norma general y salvo justificación especial, no se utilizan hormigones de consistencia fluida, recomendándose los de consistencia plástica, compactados por vibrado. En elementos con función resistente, se prohíbe la utilización de hormigones de consistencia líquida. Se exceptúa de lo anterior el caso de hormigones fluidificados por medio de un súper plastificante. La fabricación y puesta en obra de estos hormigones, deberá realizarse según reglas específicas

Las distintas consistencias y los valores límites de los asentamientos correspondientes, medidos en el cono de Abrams de acuerdo con el método del ensayo indicado en la norma NB/UNE 7103, son los siguientes:” (CBH-87).

Tabla 3.- Consistencia de la mezcla en función de sus asentamientos (CBH/87)

Consistencia	Asentamiento, en cm	Tolerancia, en cm (véase 16.4)
Seca	0 - 2	0
Plástica	3 - 5	± 1
Blanda	6 - 9	± 1
Fluida	10 - 15	± 2

La manera correcta de hacer el análisis de consistencia en obra mediante el cono de Abrams, debe seguir los siguientes pasos:

Ilustración 1.- Material y procedimiento para el análisis de consistencia en obra (NTC 396-550, Norma Técnica Colombiana)



## **6.2. ELABORACION Y CURADO DE MUESTRAS DE CONCRETO**

“Una vez puesto en obra el hormigón y en tanto éste no haya adquirido la resistencia suficiente deberá protegerse contra las influencias que puedan perjudicarlo y en especial contra:

- Una desecación prematura, en particular a causa de soleamiento o viento.
- Un deslavado por lluvia o chorro de agua.
- Un enfriamiento rápido, durante los primeros días.
- Una baja temperatura o una helada.
- Vibraciones o sacudidas, capaces de alterar la textura del hormigón y la adherencia entre éste y las armaduras” (CBH-87).

Por otra parte, durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón, para que pueda efectuarse la necesaria hidratación de todo el volumen de la masa hasta alcanzar los paramentos de la pieza, y con el fin de evitar los daños que pueden originarse por una retracción prematura y demasiado rápida, es imprescindible proteger el hormigón contra la desecación, lo más pronto posible después de su puesta en obra, adoptando para ello las medidas adecuadas que se empezaran a aplicar tan pronto como el hormigón haya endurecido lo suficiente para que su superficie no resulte afectada y se prolongarán durante el plazo que establezca el Pliego de Especificaciones Técnicas, en función de tipo, clase y categoría del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente, de las características exigidas al hormigón, etc.

El curado podrá realizarse manteniendo húmedas las superficies de los elementos de hormigón mediante riego directo que no produzca deslavado, o utilizando un material adecuado que no contengan sustancias nocivas para el hormigón y sea capaz de retener la humedad. El agua utilizada en estas operaciones deberá poseer las cualidades exigidas en 2.3 de la norma CBH-87.

Si el hormigón debe endurecer a baja temperatura o se utiliza un cemento de fraguado lento, deberá prolongarse el curado, regularmente se recomienda un curado prolongado en el caso en que el hormigón deba satisfacer exigencias especiales con respecto a la estanquidad a la resistencia a ciclos de hielo-deshielo, a la abrasión o a la figuración.

El curado por aportación de humedad, podrá sustituirse por la protección de las superficies mediante recubrimientos plásticos u otros tratamientos adecuados, siempre que tales métodos especialmente en el caso de masas secas ofrezcan las garantías que se estimen necesarias para lograr durante el primer periodo de endurecimiento, la retención de la humedad inicial de la masa.

El endurecimiento del hormigón puede acelerarse mediante tratamientos térmicos, empleando técnicas especiales tales como el curado al vapor, por ejemplo. En estos casos, se procederá con arreglo a las normas de buena práctica propias de dichas técnicas, previa autorización del Director de Obra.

En general el proceso de curado debe prolongarse hasta que el hormigón haya alcanzado, como mínimo, el 70% de su resistencia de proyecto.

A continuación, se muestra una tabla que refleja la relación entre las distintas dimensiones que pueden tener las probetas, con la resistencia de una probeta cilíndrica de 15 cm x 30 cm.

Tabla 4.- Ensayos de compresión sobre probetas de distinto tipo y la misma edad (CBH-87)

Tipo de probeta (supuesta con caras refrendadas)	Dimensiones en cm	Coeficiente de conversión a la probeta cilíndrica de 15 cm x 30 cm	
		Límites de variación	Valor medio
Cilindro	10 x 20	0.94 a 1.00	0.97
Cilindro	25 x 50	1.00 a 1.10	1.05
Cubo	10	0.70 a 0.90	0.8
Cubo	15	0.70 a 0.91	0.8
Cubo	20	0.75 a 0.90	0.83
Cubo	30	0.80 a 1.00	0.90
Prisma	15 x 15 x 45	0.90 a 1.20	1.05
Prisma	20 x 20 x 60	0.90 a 1.20	1.05

La manera correcta de elaboración y curado de las probetas se ilustra a continuación para su mejor comprensión:

Ilustración 2.- Elaboración y curado de las muestras de Hormigón en obra (NTC 396 – 550 Norma Técnica Colombiana)



### 6.3. TRANSPORTE DE MUESTRAS DE CONCRETO

Para el traslado de muestras y evitar que éstas puedan dañarse y obtener lecturas erróneas es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Ilustración 3.- Transporte de las muestras al laboratorio (NTC 396-550, Norma Técnica Colombiana)

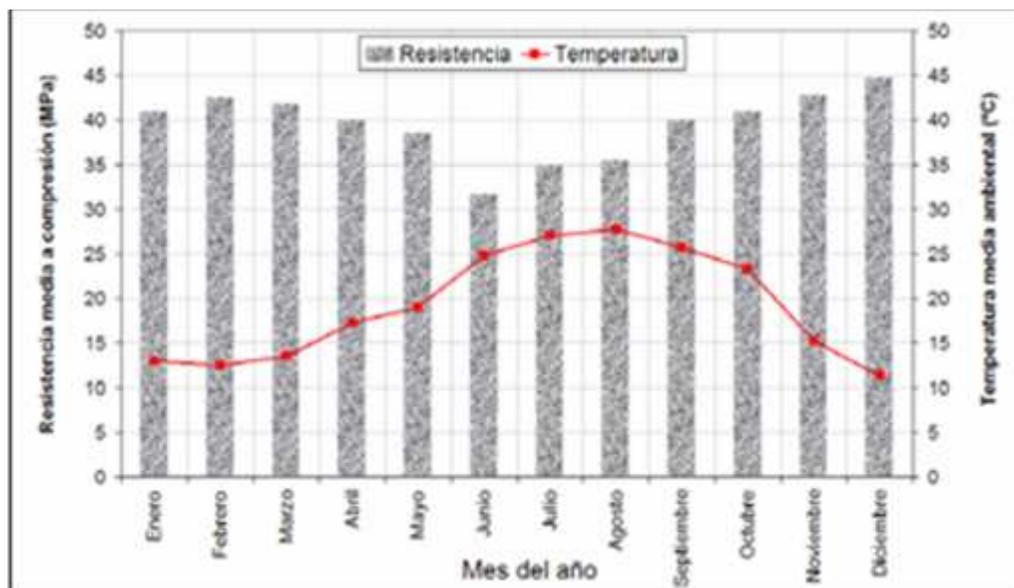


## 7. FACTORES INVOLUCRADOS EN LA REDUCCIÓN DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

### 7.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS

La fabricación de concreto premezclado, en condiciones climáticas extremas, ya sean de altas temperaturas o de bajas temperaturas, influye de manera directa en sus características en cualquier etapa del mismo: mezclado, transporte, colocación, curado, así como en las propiedades físicas y mecánicas. Ello constituye una preocupación tanto para los fabricantes como para los constructores, por las evidentes consecuencias negativas que puede tener (Ortiz, 2005; Ortiz et al., 2003). Así mismo, dentro del sector de la construcción es muy conocido que se dan pérdidas de resistencia en los periodos estivales, ya que según los resultados que se obtienen en los laboratorios año tras año, se observa dicho fenómeno de forma recurrente (Mouret, 1997).

Ilustración 4.- Variación de la temperatura media ambiental y de la resistencia media del H<sup>o</sup> en un año

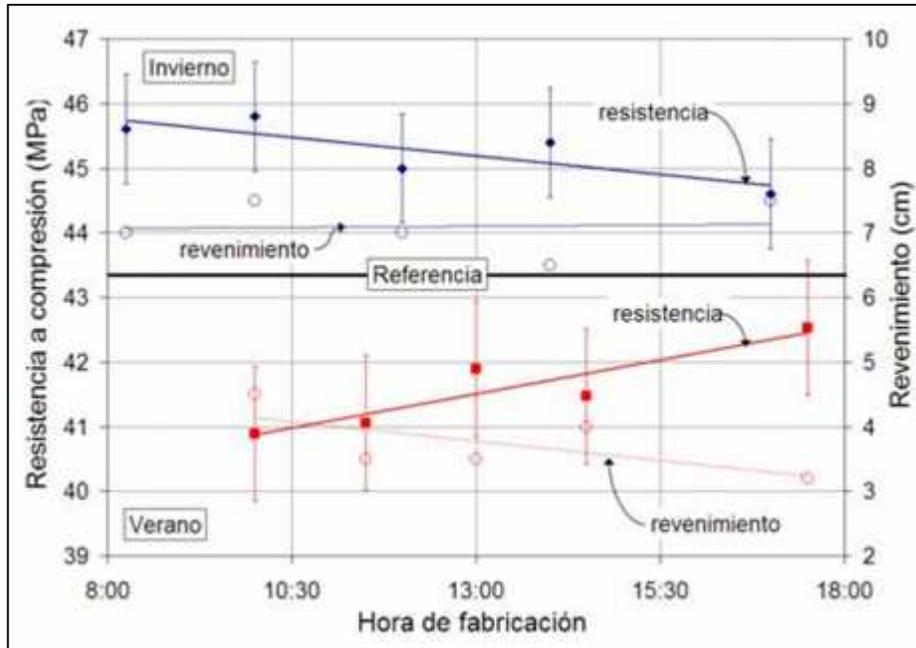


Fuente: Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico Ingeniería, vol. 11, núm 2, mayo agosto, 2007, pp. 13-20 Universidad Autónoma de Yucatán México

En la citada figura se observa que la estación en la que se obtuvo menor resistencia fue el verano, obteniéndose la mínima media en el mes de junio. Posteriormente a este mínimo tenemos unas recuperaciones más o menos progresivas a pesar de observar algunas temperaturas mayores que las correspondiente al mes de mínima resistencia, por otro lado, la temperatura juega un papel muy importante en la trabajabilidad del concreto, siendo conocido que bajo condiciones de clima cálido, se requiere una mayor cantidad de agua para una determinada consistencia o revenimiento. Por ejemplo Soroka (1993), basado en datos experimentales indica que un aumento de 10 °C en la temperatura del concreto tiene como consecuencia la disminución en el revenimiento inicial de aproximada mente 25 mm: de igual forma, por cada 10 °C de aumento en la temperatura del concreto, se necesitará aumentar entre 4 a 6 kg/m<sup>3</sup> de agua para mantener un mismo revenimiento. El efecto de la temperatura en la demanda de agua es principalmente producido por su efecto en la velocidad de la hidratación del cemento y también en la tasa de evaporación del agua (Neville, 1990).

La ilustración 5, contiene el resumen de los resultados de resistencia mecánica (28 días) y de trabajabilidad obtenidos con los concretos, para verano e invierno. En este caso, los valores obtenidos para el concreto de referencia fueron los siguientes: revenimiento = 9.0 cm y resistencia a compresión (28) = 43.3 Mpa. En la ilustración 5 vemos que los valores de resistencia a compresión son mayores en invierno que en verano, teniendo como punto intermedio el concreto de referencia. Analizando las tendencias por condición climática y en función de la hora de fabricación, a las últimas horas del día las resistencias son mayores.

**Ilustración 5.- Resultados de Resistencia a compresión en función de la hora de fabricación y revenimiento**



Fuente: influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico ingeniería, vol. 11, num. 2, mayo-agosto, 2007, pp. 13-20, Universidad Autónoma de Yucatán México

Por otro lado, el revenimiento obedece a la temperatura de los constituyentes del concreto, que a su vez son influenciados por la temperatura ambiental, en este caso los mejores valores corresponden a las condiciones de referencia, y los más desfavorables a las condiciones de verano. Su influencia sobre la resistencia es un factor menos importante que las relaciones térmicas y de tiempo de reacción antes señalados. Los fenómenos observados en esta serie experimental, pueden ser sintetizados de la siguiente manera: una precipitación rápida y no uniforme de los productos de hidratación, como consecuencia de un curado a temperaturas superiores a la ambiente, genera una disposición espacial “más desordenada” de dichos productos lo que a su vez produce un desarrollo micro estructural más heterogéneo y menos compacto (sistema poroso menos refinado) que se refleja en un menor aumento de resistencias mecánicas a lo largo del tiempo (Ortiz, 2005; Ortiz et al., 2005a).

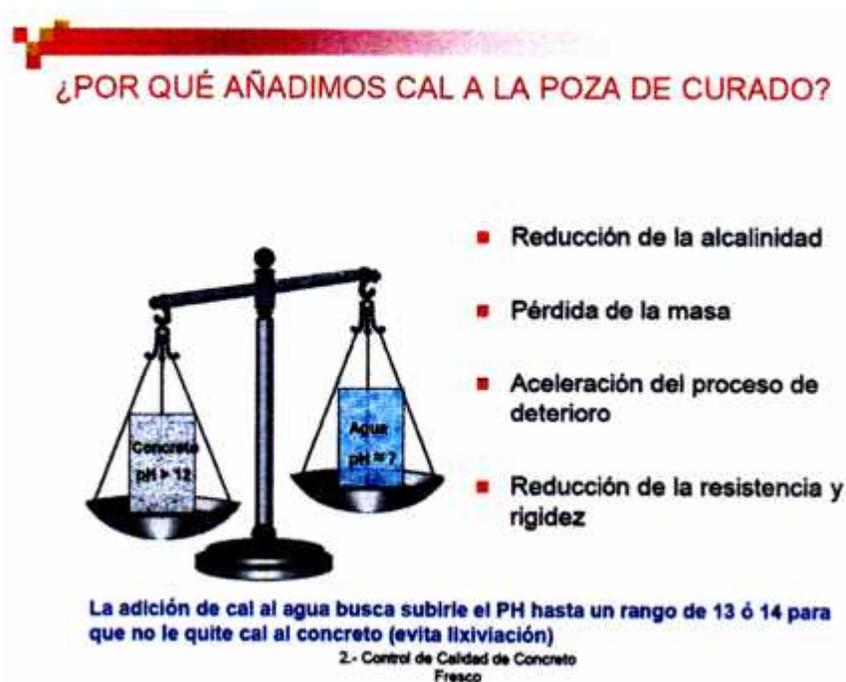
## 7.2. CONDICIONES DEL CURADO

“Un buen curado es fundamental para la mejor resistencia del Hormigón, es importante recordar que:

- Las probetas que evalúan la calidad del concreto se desmoldan antes de las 48 horas después de moldeadas.
- En un periodo máximo de 30 minutos después de desmoldar, se debe colocar las probetas en una solución de agua de cal hidratada con una concentración de 3 g/l.
- El propósito del curado húmedo es para maximizar la hidratación del cemento” (Fernando Gastañadui Ruiz).

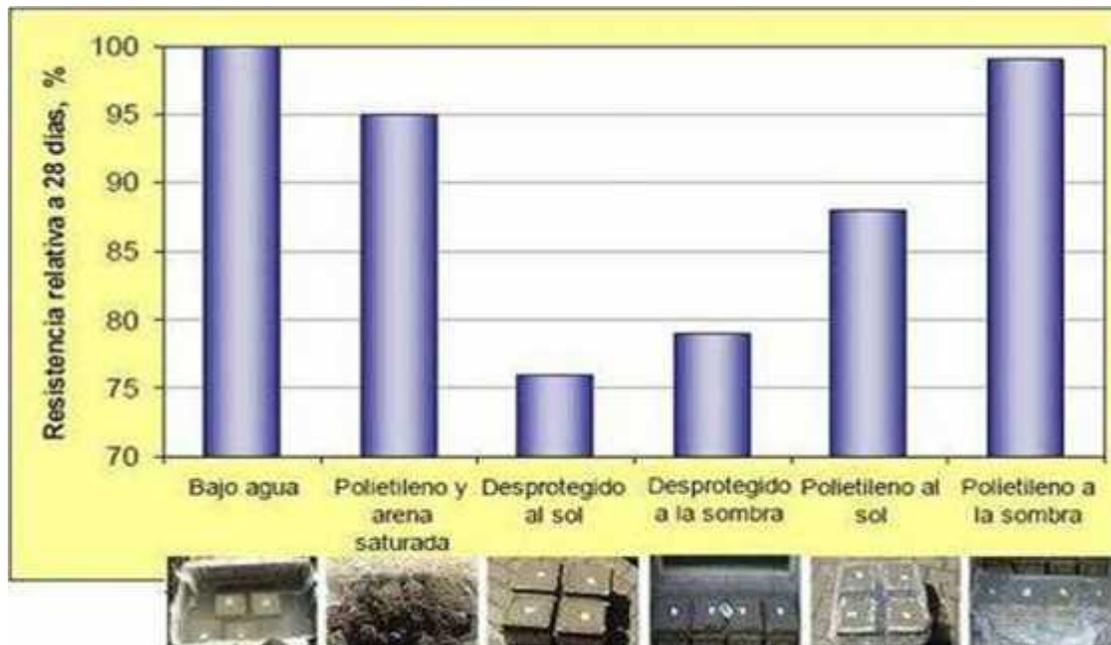
Los motivos de la adición de la cal apagada al agua de curado se explican en la siguiente ilustración:

Ilustración 6.- Adición de cal a la poza de curado (Fernando Gastañadui Ruiz)



Las condiciones de curado, son determinantes en la resistencia del Hormigón, un curado descuidado puede ocasionar que la resistencia se vea disminuida hasta un 76% de la resistencia de diseño.

**Ilustración 7.- Resistencia a la compresión en función del tipo de curado (Fernando Gastañadui Ruiz)**



### 7.3. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE MUESTRAS

Mientras quedan en obra las probetas deben dejarse almacenadas, sin desmoldar durante 24 horas, en condiciones de temperatura ambiente  $21^{\circ} \text{C} \pm 6^{\circ} \text{C}$ , evitando movimientos, golpes, vibraciones y pérdida de humedad, las probetas que quedan en el lugar de trabajo varios días, a temperatura variables, expuestas a pérdida de humedad, etc., darán resultados erróneos de resistencia, siempre más baja y de mayor variabilidad que aquellas que han sido tratadas correctamente.

Después de 24 horas de confeccionadas, las probetas se desmoldan y transportan al laboratorio para su curado. Durante el transporte y manipuleo, las probetas deben ir acondicionadas para evitarles golpes y pérdida de humedad, así como variaciones

grandes de temperatura. Llegadas al laboratorio, las probetas se almacenan a temperaturas de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  en una pileta con agua saturada con cal que las cubra totalmente, o en una cámara húmeda, con humedad relativa ambiente superior al 95%, donde quedan hasta el momento del ensayo.

“Existen estudios realizados donde se ha demostrado que por falta de una buena compactación, los hormigones pierden entre un 8 a un 30% de su resistencia, en deficiencias de protección y curado, las pérdidas llegan a ser del 50% en hormigonados en tiempo frío, 14% en tiempo caluroso y del 40% si la humedad relativa ambiente es menor del 45%”. (AAE, Asociación Argentina del Concreto Elaborado).

De igual manera, los rodamientos y choques en la parte trasera de una camioneta, pueden ocasionar más de un 7% de pérdida de resistencia si no se protege debidamente las probetas (Fernando Gastañadui Ruiz).

## 8. RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD EN EL PROYECTO, APLICANDO CRITERIOS DE LA NORMA CBH-87

Para el control de calidad del Hormigón, se utilizó como base la norma vigente en Bolivia (CBH-87), se utilizó el control estadístico a nivel normal, pues el Hormigón y la frecuencia del muestreo de cada estructura cumplen los requisitos para este tipo de análisis.

Se analizaron los elementos estructurales del proyecto, los cuales son zapatas y columnas, se analizó la calidad de cada elemento estructural y la calidad de todo el Hormigón de cada frente de trabajo.

Se aplicaron las decisiones derivadas de los ensayos de control que indica la CBH-87, a continuación, se presentará una tabla resumen con todos los resultados obtenidos de los ensayos de control de calidad, todos los análisis realizados estarán completamente desglosados en el Anexo I.

La rotura de las probetas debería realizarse veintiocho días después de vaciados los elementos estructurales muestreados, por diversas razones y en varias oportunidades no se pudo medir la resistencia de las probetas en la fecha indicada, por lo cual se decidió proyectar las resistencias de dichas probetas, utilizando la fórmula desarrollada por el Servicio Nacional de Caminos

$$R_{28} = \frac{R_i(3.69+i^{2.3})}{1.4 i^{2.3}}$$

$R_{28}$  = Resistencia de Compresión a los 28 días en  $\text{kgf/cm}^2$ .

$R_i$  = Resistencia a Compresión medida.

$i$  = edad del Hormigón en días.

Tabla 5.- Resultados Control de Calidad del Hormigón según CBH-87

TABLA RESUMEN DE ROTURAS DE PROBETAS POR TINGLADO

Resistencia a comp. exigida: 210.00 kg/cm<sup>2</sup>

N°	TINGLADO	TIPO DE ANALISIS	Fue	N <sub>ok</sub>	OBSERVACIONES
1	LOS SABAÑANOS	ZAPATAS	248.93	317.00	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPOSTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	259.52	251.41	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPOSTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA	230.93	220.63	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPOSTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		TINGLADO	214.43	225.40	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPOSTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
2	NARVAEZ	COLUMNAS			
		CARPETA			
3	RELVAYO ATRIBUADRO	ZAPATAS	133.93	89.70	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON SINGLA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	172.92	193.20	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON SINGLA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	103.33	103.33	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON SINGLA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
4	EL TUNAL	COLUMNAS			
		CARPETA			
5	SAN ROBERTO CENTRO	ZAPATAS	225.51	236.56	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPOSTA EN EL PUNTO 3 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	213.36	192.93	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPOSTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	214.58	179.63	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPOSTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
6	SAN DIEGO NORTE	ZAPATAS	205.94	205.07	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPOSTA EN EL PUNTO 3 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	107.46	81.62	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
7	SALGITO CENTRO	CARPETA			
		TINGLADO	195.55	91.91	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		ZAPATAS	200.98	216.11	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPOSTA EN EL PUNTO 3 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	132.23	119.93	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
8	SUARIBITO	CARPETA			
		TINGLADO	172.43	166.63	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		ZAPATAS	193.93	142.93	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	245.73	228.50	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPOSTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
8	SUARIBITO	CARPETA			
		TINGLADO	345.73	229.50	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPOSTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES

N°	TINGLADO	TIPO DE ANALISIS	Fest	Xi Ni	OBSERVACIONES
9	TAMPAPO Y AMBO	ZAPATAS	174.97	182.85	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	210.48	212.92	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPUESTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
10	SUAREIRO	TINGLADO	178.73	195.01	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
		ZAPATAS	249.48	250.61	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	192.41	189.21	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
11	KUMANDABOTI	CARPETA			
		TINGLADO	210.61	159.00	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPUESTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		ZAPATAS	177.00	177.71	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
12	LAGUNITAS	COLUMNAS	193.45	188.84	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	271.15	290.23	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 1 DE LAS OBSERVACIONES
13	PALON BLANCOS	ZAPATAS	218.39	190.13	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPUESTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	219.17	185.70	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPUESTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
14	COL. FRANZ TAMAYO	TINGLADO	224.18	196.64	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPUESTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		ZAPATAS	205.04	178.71	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	192.57	96.15	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
15	COL. BOUBRETH OYONOR	CARPETA			
		TINGLADO	195.84	95.91	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		ZAPATAS	199.06	169.04	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
16	MORITERIOS	COLUMNAS	217.98	212.21	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPUESTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	204.70	188.66	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
16	MORITERIOS	ZAPATAS			
		COLUMNAS	251.45	252.72	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 3 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA	191.97	207.82	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		TINGLADO	201.87	218.64	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES

N°	TINGLADO	TIPO DE ANALISIS	Pes	X <sub>1</sub> Kg	OBSERVACIONES
17	PADRINAL	ZAPATAS			
		COLUMNAS			
		CARPETA			
		TINGLADO			
18	LA CURVA	ZAPATAS			
		COLUMNAS			
		CARPETA			
		TINGLADO			
19	YUANTI	ZAPATAS	171.81	180.93	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	172.51	182.84	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	173.36	177.77	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
20	CANALETAS CENTRO	ZAPATAS	177.86	186.34	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	240.97	249.05	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	183.27	186.39	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
21	POTRERILLOS	ZAPATAS	219.14	217.17	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLEN LAS CONDICIONES PROPUESTAS EN EL PUNTO 4 Y 5 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	189.05	198.74	ELEMENTOS ACEPTADOS SE CUMPLE CON LA CONDICION PROPUESTA EN EL PUNTO 5 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	188.36	200.39	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4 O 5 DE LAS OBSERVACIONES
22	AGUA BUENA	ZAPATAS			
		COLUMNAS			
		CARPETA			
		TINGLADO			
23	ZAPATERAMBIA	ZAPATAS			
		COLUMNAS			
		CARPETA			
		TINGLADO			
24	SAN SIMON	ZAPATAS			
		COLUMNAS			
		CARPETA			
		TINGLADO			

Nº	TINGLADO	TIPO DE ANALISIS	F <sub>es</sub>	X <sub>1,Kn</sub>	OBSERVACIONES
21	LAS COLUMNAS	ZAPATAS	21.13	21.13	MINUTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4.3 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	21.13	21.13	MINUTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE COMO NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4.3 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	21.13	21.13	MINUTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE COMO NINGUNA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 4.3 DE LAS OBSERVACIONES
22	MOBILIARIAS	ZAPATAS	22.13	22.13	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 3 DE LAS OBSERVACIONES
		COLUMNAS	22.13	22.13	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 3 DE LAS OBSERVACIONES
		CARPETA			
		TINGLADO	22.13	22.13	ELEMENTOS RECHAZADOS NO SE CUMPLE CON LA CONDICION EXIGIDA EN EL PUNTO 3 DE LAS OBSERVACIONES

**Observaciones:**

1. El muestreo y curado de probetas fue proporcionado por el solicitante
2. Los datos de vaciado fueron proporcionados por el Contratista
3. La proyeccion de la rotura a los 28 dias fue elaborada en funcion al Manual de Ensayos para Materiales del Serv. Nal. De Caminos
- 4.-Para que la parte de la obra sometida a este control pueda ser aceptada, deberá verificarse,  $F_{es} \geq X_{1,Kn}$  y tambien debe cumplirse  $F_{es} \geq F_a$
- 5.-En caso q no llegara a cumplirse  $F_{es} \geq F_a$  se aceptara la obra si se cumpliera  $F_{es} \geq 0.9F_{ck}$

## **9. ANALISIS DE RESULTADOS**

Como se puede apreciar en la tabla presentada en el punto 6, en nueve comunidades, el valor de resistencia de las probetas ha dado por debajo de lo exigido en la CBH-87.

Como se ha expresado en el punto 5, un descenso en la resistencia a la compresión puede deberse a diversos factores, tales como condiciones climáticas extremas, un curado descuidado de las probetas, almacenamiento y transporte de probetas sin la debida precaución, todos estos factores hacen que el muestreo en estos frentes de trabajo no sean representativos del frente analizado.

Para identificar las posibles causas del descenso de la resistencia de las probetas, se realizará un análisis de las condiciones climatológicas, el objetivo es obtener el comportamiento de la resistencia de las probetas en función del tiempo y a su vez compararla con la variación de temperaturas, si los comportamientos son similares, se deducirá que el clima de la zona fue el principal responsable de la pérdida de resistencia de las probetas.

Una vez analizadas las condiciones climatológicas, se procederá a comparar la resistencia media obtenida de cada elemento estructural, con las reducciones en porcentaje de las diferentes situaciones, tales como condiciones de curado y transporte.

A continuación se muestra una tabla en las que se resumen las reducciones de las resistencia en distintas condiciones de curado, hormigonado en frio, hormigonado en calor, transporte.

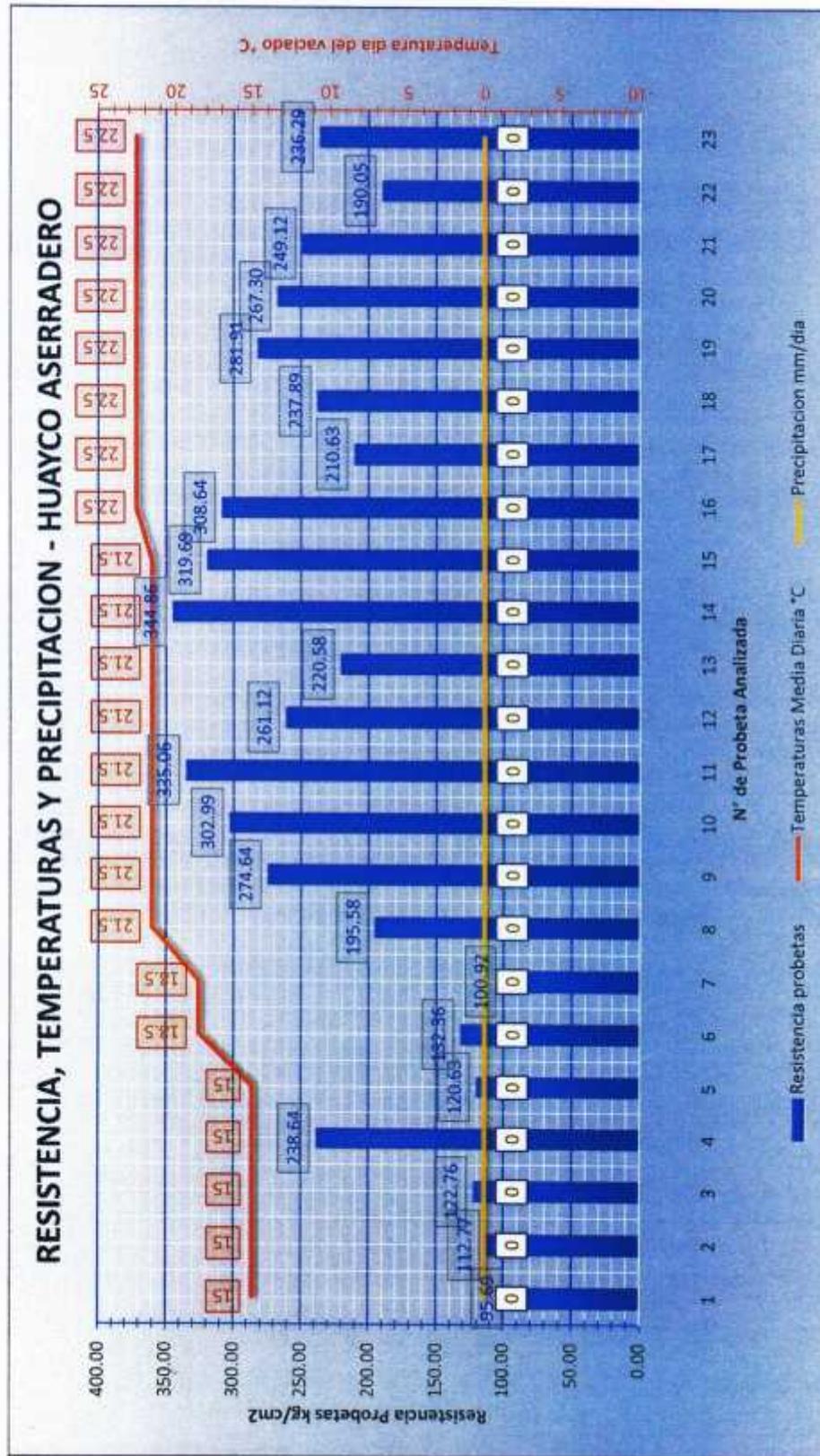
**Tabla 6.- Reducción de la resistencia en función del curado, compactación, clima y transporte de probetas**

SITUACIONES QUE REDUCEN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA %	RESISTENCIA OBTENIDA %	RESISTENCIA ESPERADA PARA UN HORMIGON H-21
CONDICIONES DE CURADO			
BAJO AGUA	0	100	210
POLIETILENO Y ARENA SATURADA	5	95	199.5
DESPROTEGIDO AL SOL	24	76	159.6
DESPROTEGIDO A LA SOBRA	21	79	165.9
POLIETILENO AL SOL	12	88	184.8
POLIETILENO A LA SOMBRA	2	98	205.8
<b>FALTA DE COMPACTACIÓN</b>	<b>8 – 30</b>	<b>70 – 92</b>	<b>147 – 193</b>
<b>HORMIGONADO EN FRIO</b>	<b>14</b>	<b>86</b>	<b>180.6</b>
<b>HORMIGONADO EN CALOR</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>126</b>
<b>TRANSPORTE EN CAMIONETA</b>	<b>7</b>	<b>93</b>	<b>195.3</b>

## 7.1 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

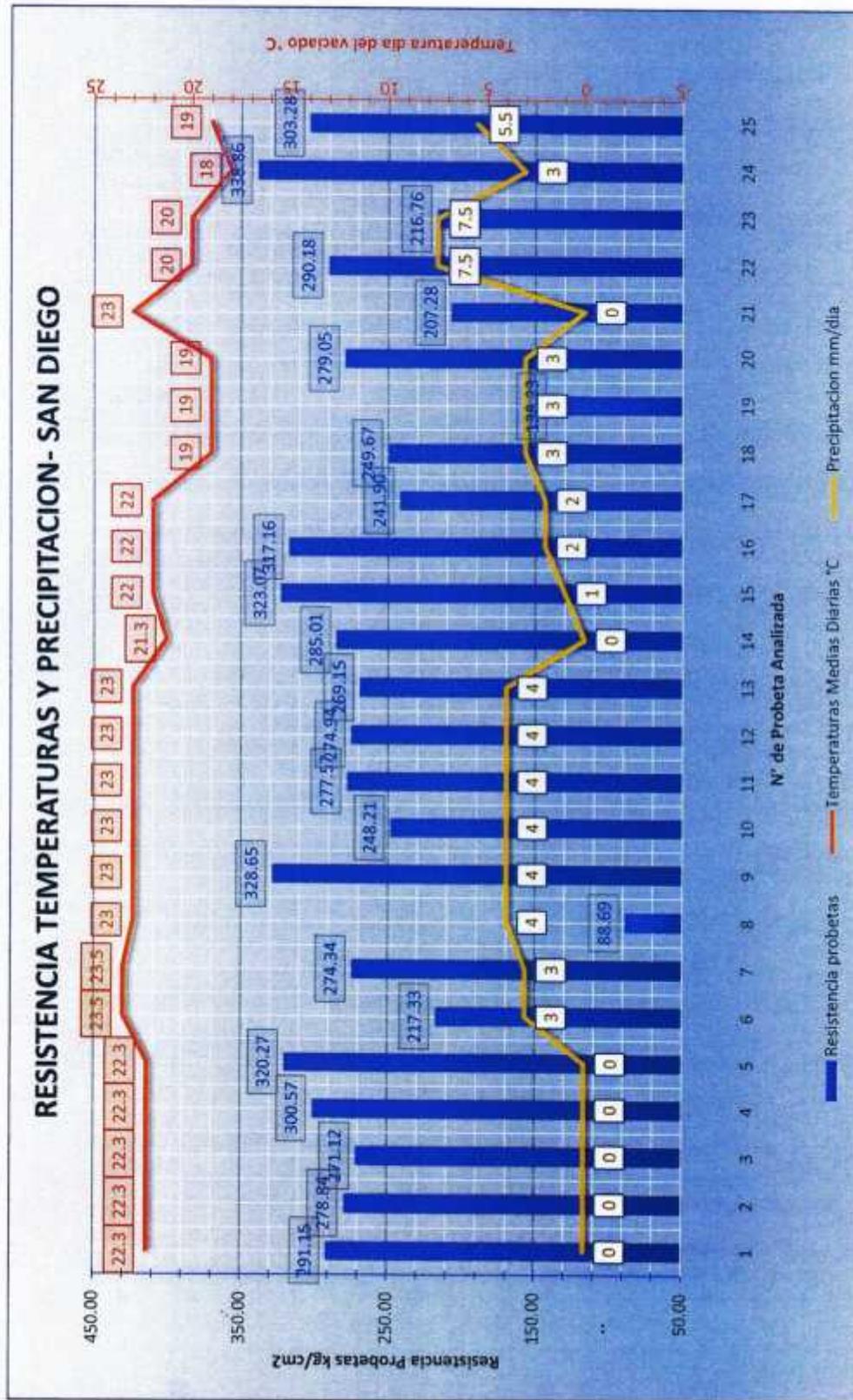
### 7.1.1 HUAYCO ASERRADERO

Ilustración 8.- Condiciones Climáticas, Resistencias Vs Fecha de Vaciado de cada probeta



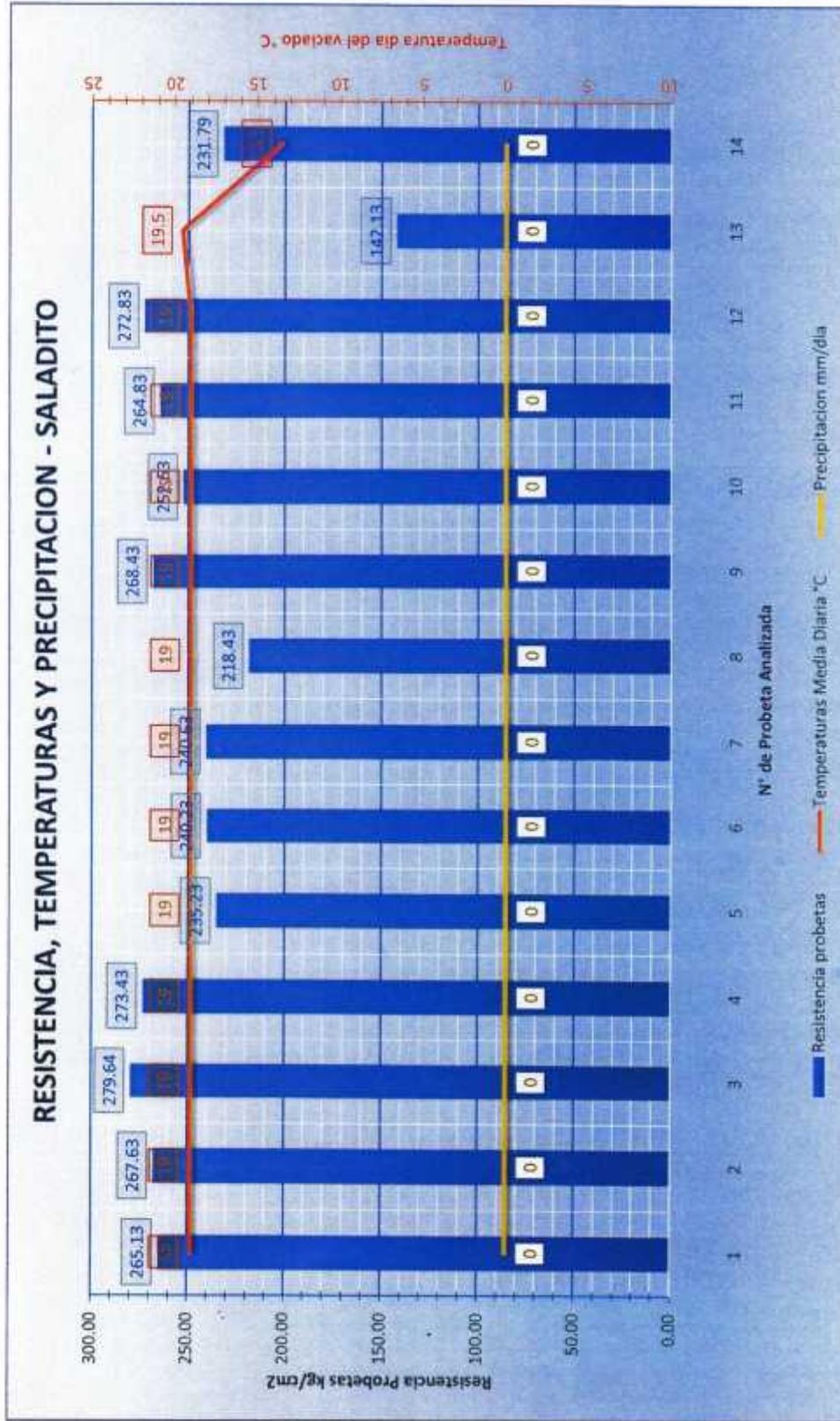
7.1.2 SAN DIEGO

Ilustración 9.- Condiciones Climáticas, Resistencias Ys Fecha de Yaciado de cada probeta



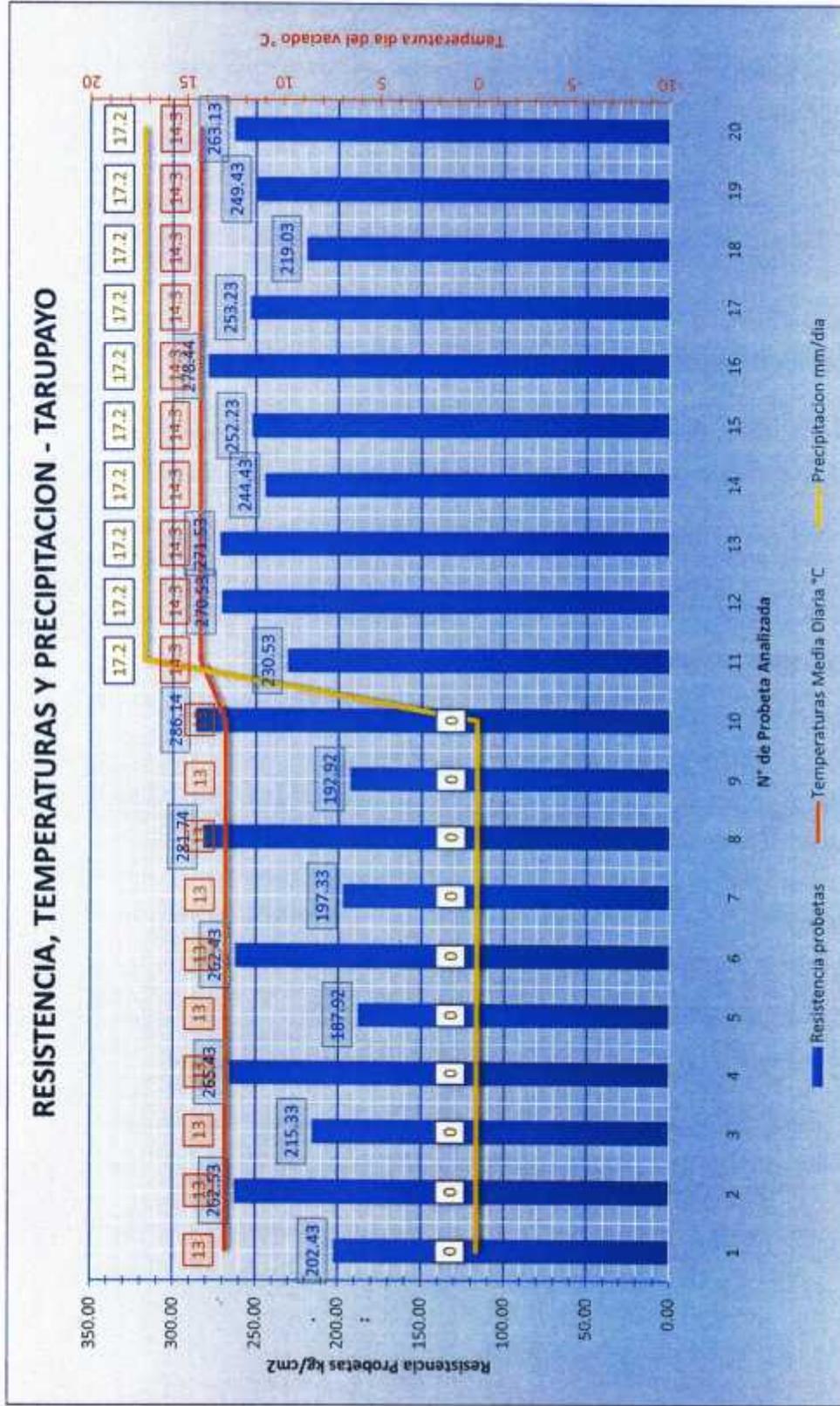
7.1.3 SALADITO

Ilustración 10.- Condiciones Climáticas, Resistencias Vs Fecha de Vaciado de cada probeta



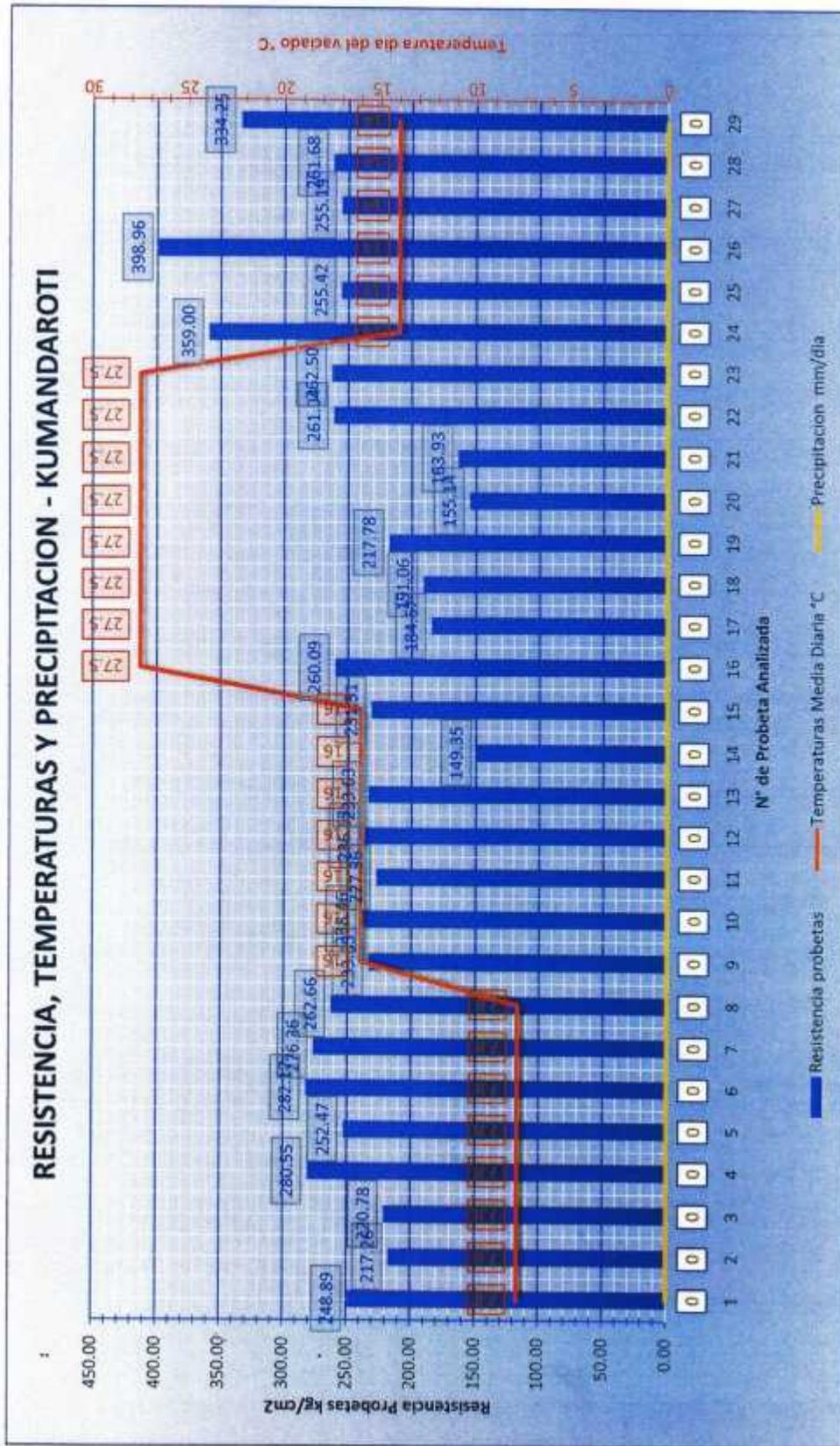
7.1.4 TARUPAYO

Ilustración 11.- Condiciones Climáticas, Resistencias Vs Fecha de Vaciado de cada probeta



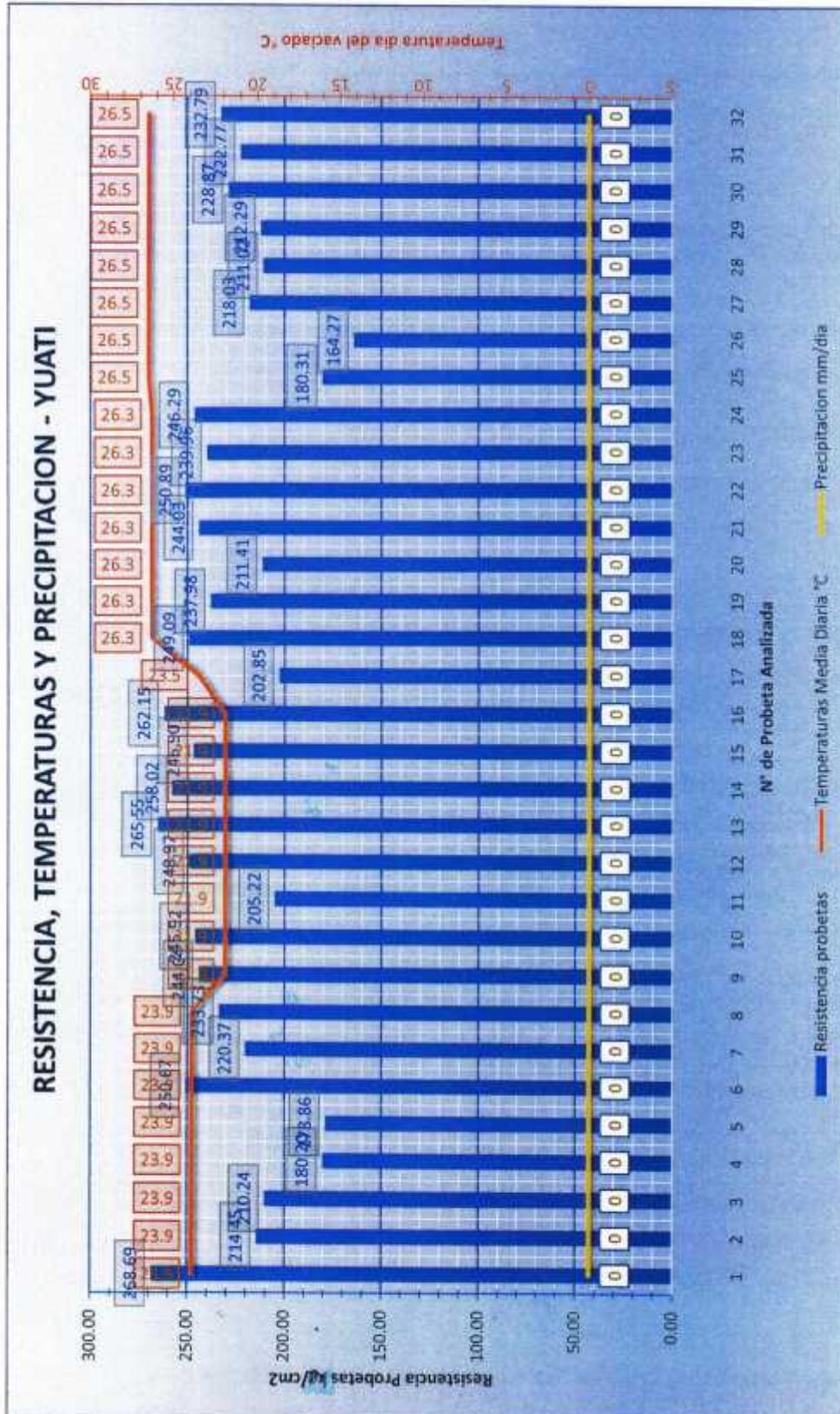
7.1.5 KUMANDAROTI

Ilustración 12.- Condiciones Climáticas, Resistencias Vs Fecha de Yaciado de cada probeta



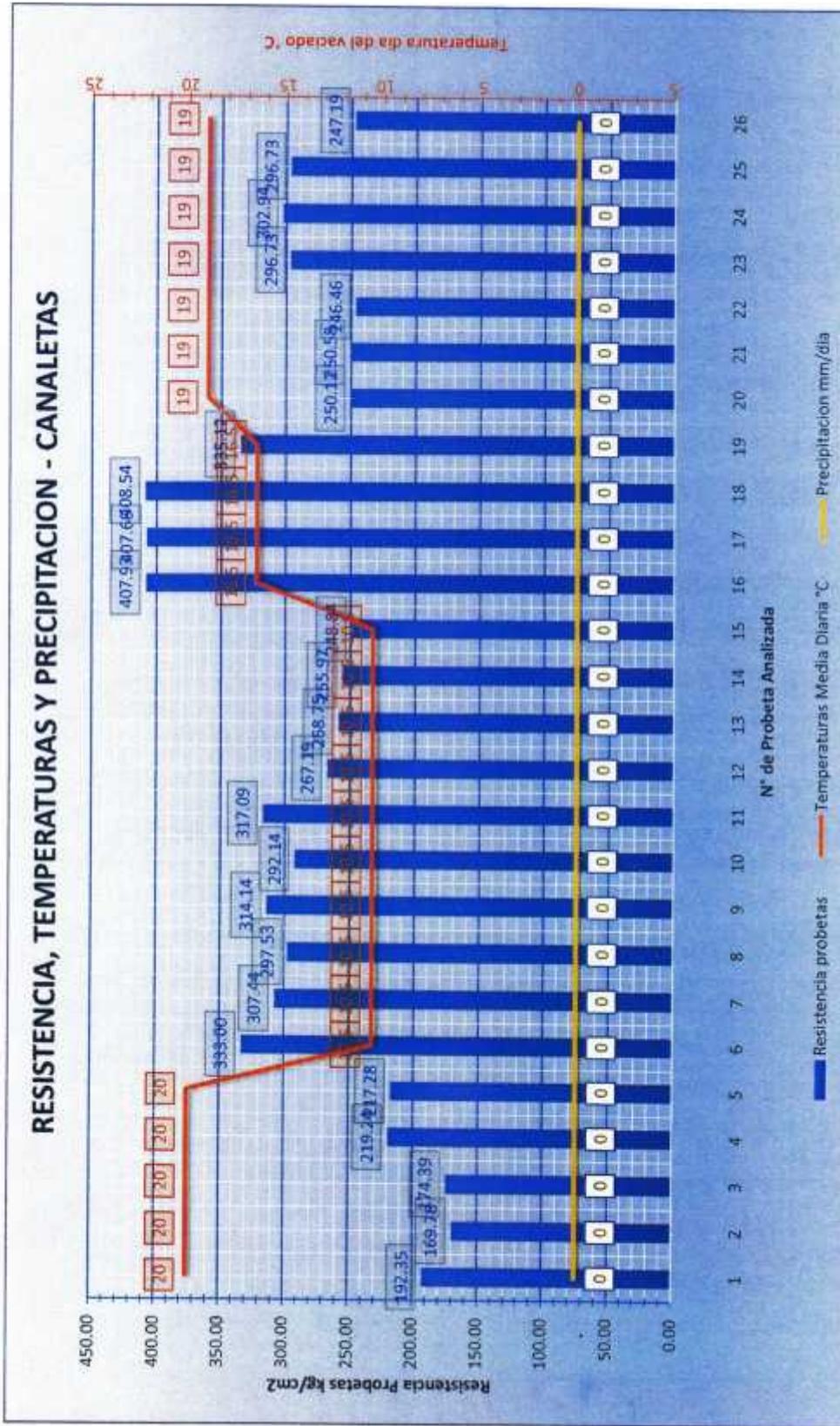
7.1.6 YUATI

Ilustración 13.- Condiciones Climáticas, Resistencias Vs Fecha de Vaciado de cada probeta



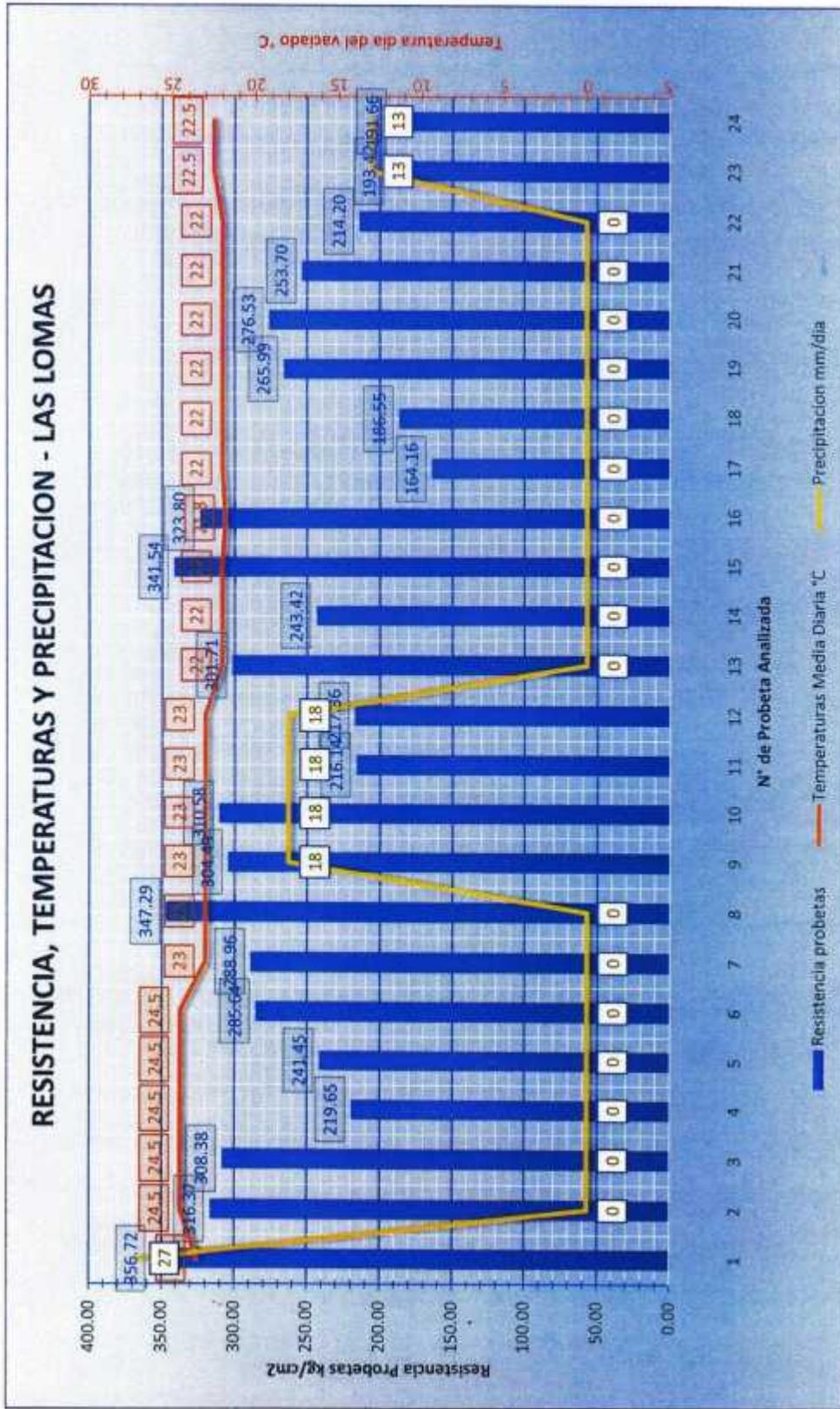
7.1.7 CANALETAS

Ilustración 14.- Condiciones Climáticas, Resistencias Vs Fecha de Vaciado de cada probeta



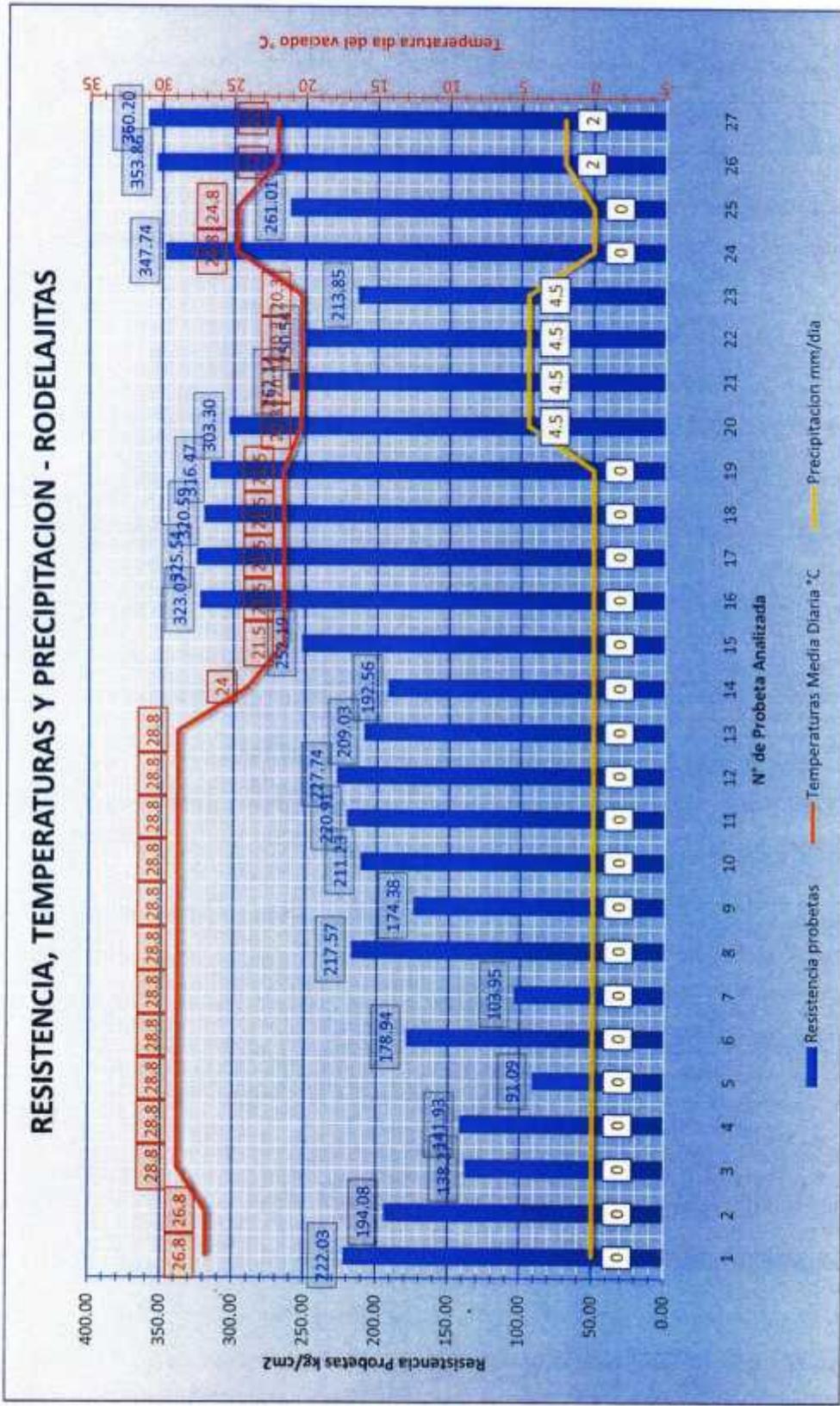
7.1.8 LAS LOMAS

Ilustración 15.- Condiciones Climáticas, Resistencias Ys Fecha de Vaciado de cada probeta



7.1.9 RODELAJITAS

Ilustración 16.- Condiciones Climáticas, Resistencias Vs Fecha de Vaciado de cada probeta



Las fechas de cada probeta analizada, se puede ver en el análisis de calidad correspondiente a cada Comunidad, estos ensayos se encuentran en el ANEXO I. de los gráficos observados anteriormente, se puede ver que en la mayoría de los casos las condiciones climáticas no jugaron un papel determinante en la reducción de la resistencia a la compresión de las probetas analizadas de los frentes analizados.

El único frente donde se ve el comportamiento similar entre la mayoría de las probetas con el comportamiento de la temperatura ambiente, es en el frente de la Comunidad de Huayco Aserradero, a su vez, en el mismo frente de trabajo se han obtenido probetas vaciadas el mismo día cuya resistencia fue mayor a la exigida por el proyecto, por tanto se puede concluir que el factor climático en estos frentes de trabajo queda desestimado.

## **9.2. ANÁLISIS DEL CURADO, COMPACTACIÓN, HORMIGONADO Y TRANSPORTE**

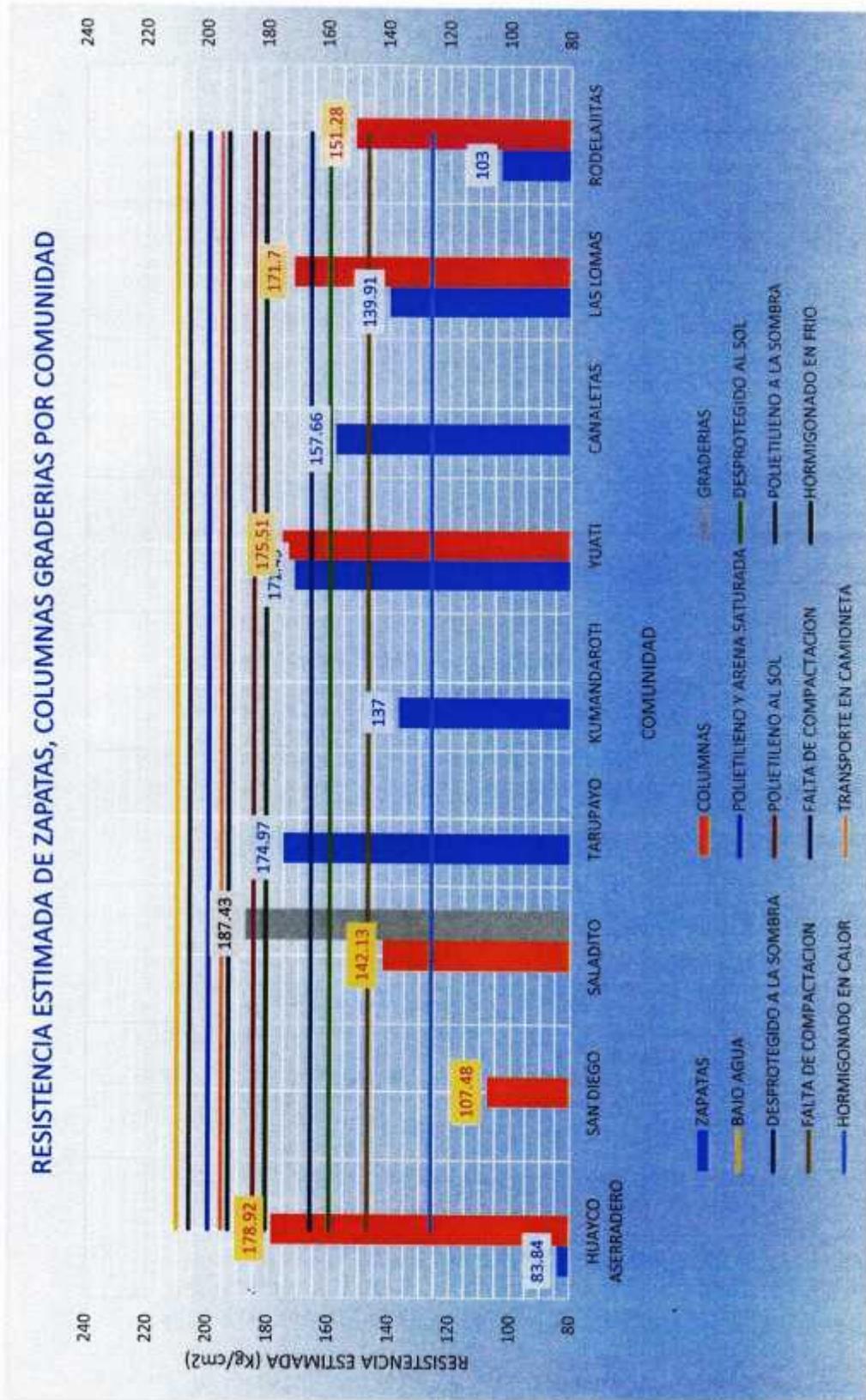
Como el factor climático fue desestimado, se continuará el análisis de las condiciones de curado, compactación, el hormigonado y del transporte, para los cual, se elabora una tabla resumen con las probetas de los elementos estructurales que se analizaran, correspondientes a cada comunidad.

**Tabla 7.- Tabla resumen de probetas de elementos estructurales por comunidad**

	RESISTENCIAS ESTIMADAS (Kg/cm <sup>2</sup> )			% DE LA RESISTENCIA EXIGIDA		
	ZAPATAS	COLUMNAS	GRADERIAS	ZAPATAS	COLUMNAS	GRADERIAS
HUAYCO ASERRADERO	83.84	178.92	-	39.92	85.20	-
SAN DIEGO	-	107.48	-	-	51.18	-
SALADITO	-	142.13	187.43	-	67.68	89.25
TARUPAYO	174.97	-	-	83.32	-	-
KUMANDAROTI	137.00	-	-	65.24	-	-
YUATI	171.45	175.51	-	81.64	83.58	-
CANALESTAS	157.66	-	-	75.08	-	-
LAS LOMAS	139.91	171.70	-	66.62	81.76	-
RODELAJITAS	103.00	151.28	-	49.05	72.04	-

Con esta tabla, se elaborará un gráfico de barras para identificar cual fue el factor más determinante en el descenso de la resistencia, se marcará los límites de las resistencias posibles, siguiendo los valores que se obtuvieron del estudio realizado por (ICPA, (Instituto del Cemento Portland Argentino)).

Ilustración 17.- Resistencia Estimada de Zapatas, Columnas y Graderías por Comunidad.



## **10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **10.1. CONCLUSIONES**

#### **10.1.1. HUAYCO ASERRADERO**

El descenso de la resistencia en las probetas correspondientes a las zapatas, puede deberse a las causas combinadas de una muy mala compactación (30%), el traslado en camioneta (7%), y un curado desprotegido al sol (24%), estas causas provocarían que el Hormigón baje su Resistencia hasta el 39% aproximadamente, valor que coincide con el obtenido de las roturas de las probetas.

En el caso de las columnas, se observa que el descenso de la resistencia se asemeja más a un hormigonado en clima frío, de acuerdo al análisis de condiciones climatológicas, esto es prácticamente imposible, por tanto, los factores que más pudieron influir en esta pérdida de resistencia son dos: un mal compactado leve (8%) y el transporte en camioneta (7%), ocasionando que la resistencia de las probetas baje hasta el 85% aproximadamente.

#### **10.1.2. SAN DIEGO**

Las probetas de las columnas descendieron su resistencia hasta alcanzar el 48.82% de la resistencia del hormigón requerida, dicha reducción corresponde a los efectos de un transporte en camioneta (7%), a un mal compactado regular (15%) y a un curado desprotegido al sol (24%).

#### **10.1.3. SALADITO**

Las probetas de las columnas, vieron disminuida su resistencia hasta llegar al 67.68% de la resistencia requerida, la disminución correspondería al transporte en camioneta (7%) y a un curado desprotegido al sol (24%) de las probetas.

La resistencia de las probetas de la gradería fue del 89.25% de la resistencia exigida en el proyecto, la reducción se debe más que todo al transporte en camioneta.

#### **10.1.4. TARUPAYO**

Las probetas de las zapatas, vieron su resistencia reducida hasta el 83.32%, debido a una falta de compactación leve (8%) y al transporte en camioneta de las probetas (7%).

#### **10.1.5. KUMANDAROTI**

Las probetas de las zapatas llegaron hasta el 65.24% de la resistencia del proyecto, la disminución de la resistencia se produjo principalmente a un curado desprotegido al sol (24%), falta de compactación leve (8%) y al transporte en camioneta (7%).

#### **10.1.6. YUATI**

Las probetas de zapatas y columnas vieron reducida su resistencia a un valor bastante próximo entre sí (81.64% y 83.58%), por lo cual podemos suponer que ambos elementos estructurales fueron vaciados en condiciones prácticamente iguales, los factores que produjeron esta reducción, son un mal compactado leve (8%) y el transporte en camioneta de las probetas (7%).

#### **10.1.7. CANALETAS**

Las probetas de las zapatas redujeron su resistencia hasta el 75%, debido al factor más determinante para esta reducción, como es un curado desprotegido al sol (24%).

#### **10.1.8. LAS LOMAS**

Las probetas de las zapatas redujeron su resistencia hasta llegar al 66.62% de la resistencia del proyecto, entre las causas atribuibles a este descenso de la resistencia está el curado desprotegido al sol (24%) y al traslado en camioneta (7%).

Las probetas de las columnas redujeron su resistencia hasta llegar al 81.76%, entre los principales factores atribuibles a este descenso está una falta de compactación leve (8%) y el transporte en camioneta (7%).

#### **10.1.9. RODELAJITAS**

La resistencia de las probetas de las zapatas llegaron hasta el 49.05% de la resistencia del proyecto, lo más probable es que entre los factores que más influenciaron este descenso está un curado desprotegido al sol (24%), una falta de compactación leve (15%) y el traslado de probetas en camioneta (7%).

Las probetas de las columnas redujeron su resistencia hasta llegar al 72.04% de la resistencia requerida del proyecto, entre los factores más probables está un curado desprotegido al sol (24%) y un traslado en camioneta (7%).

#### **10.2. RECOMENDACIONES**

En varios frentes de trabajo, la reducción de las resistencias obtenidas mediante el control de calidad de la CBH-87, se debió muchas veces porque una probeta obtuvo valores bastante alejados de los exigidos, debido a una probeta, la resistencia calculada para el elemento estructural se vio notablemente afectada, lo ideal sería poder desechar los valores alejados, pero la CBH-87 no tiene ningún mecanismo para el descartar muestras que se alejen de la resistencia exigida, las únicas normas que consideran esa depuración de valores, son las normas vigentes en Argentina y Alemania (CIRSOC y DIM).

Es necesario contar con un mecanismo para poder depurar valores alejados del 95% de la probabilidad de la campana Gauss, mismos valores son considerados no representativos y depurados en las normas CIRSOC y DIM.

La CBH-87, considera que si las muestras de hormigón no aprueban el control de calidad de la misma, lo que corresponde es un control de calidad utilizando un método indirecto (esclerometría) o una extracción de testigos, se recomienda que

primeramente se haga una verificación con un método indirecto, esto con el afán de verificar de una manera rápida y sencilla la calidad del hormigón del elemento estructural observado, en caso de que este ensayo tampoco brinde resultados satisfactorios, corresponde una verificación de la resistencia mediante la extracción de testigos, las mismas recomendaciones se encuentran en la Norma Española, la misma que fue utilizada de base en la elaboración de la Norma CBH-87.

Mediante el análisis de las roturas de probetas, se pudo verificar que varias de las resistencias correspondientes a un curado, transporte y elaboración de probetas descuidado, quedando por tanto descartadas como muestras representativas de los elementos estructurales estudiados, por tanto, es necesario verificar la resistencia del hormigón en la comunidades correspondientes mediante un método indirecto.