



Six Sigma (6σ), Aplicado al Hormigón, Constructora EBCO S.A.

Caso: “Edificio Caupolicán”

M. Reyes Retamal, G. Bustamante Laissle, C. Molina Venegas.

Resumen.

El Hormigonado es una partida clave en el proceso de construcción a nivel nacional. El buen acabado de éste (en planeidad¹ y llenado), ayudará de forma sistemática no sólo a nivel de costos, sino también en tiempo de terminación de la obra, dado que disminuirá la aplicación del yeso y el uso de pulidoras, siendo esta última una de las actividades que conllevan un tiempo mayor dentro de lo que son las partidas de terminaciones.

Este análisis busca la mejora sustancial de productividad y calidad del hormigonado mediante un análisis estadístico, siendo inspeccionado bajo *control geométrico*² y analizado con la metodología *Six Sigma*, la cual pretende optimizar los procesos centrándose en la reducción de variabilidad de éstos, consiguiendo una disminución o eliminación de los posibles errores del producto a analizar.

Abstract.

Nationwide, concreting is a key activity in the construction process, reason why it will help systematically at costs and eventually terminations time; because having a good quality finishing (Filling and flatness) from start, translates into less usage of plaster and polisher, being this, one of the activities that entails the most time among the finishing activities.

This analysis seeks to improve substantially the productivity and quality of the concreting through statistical analysis, inspected through geometric control and analyzed with *Six Sigma* methodology, which seeks to improve processes focused in reduction of variables, obtaining a diminution or elimination of the possible errors in the analyzed product.

Introducción.

Six Sigma viene de un simple indicador de calidad diseñado para acelerar las mejoras y alcanzar niveles de desempeño. Esta metodología consiste en un programa de mejoramiento continuo de calidad, el cual persigue reducir errores y avanzar hacia altos objetivos de calidad en base a hechos y datos. Además, se ofrece un enfoque estructurado, analítico y racional para el establecimiento de proyectos de mejora acordes con los objetivos planteados.

La aplicación de *Six Sigma* requiere el uso de un amplio abanico de herramientas estadísticas, de hecho, el término *Sigma* representa la desviación típica de una distribución y es el factor clave para conocer la variabilidad de ésta. Por ello, en este trabajo se señalan las herramientas más apropiadas en cada etapa o fase de implementación del *Six Sigma* (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) y se presenta una propuesta de aplicación en el hormigonado.

Objetivos.

Los objetivos de esta investigación se basan en:

- Generales:
 - o Exponer los conceptos y teoría de Six sigma.
 - o Detectar problemáticas en terreno.
 - o Bajar la cantidad de uso de recursos en elementos de terminación de Hormigón, tales como tiempo y dinero.
 - La baja en tiempo y costos es algo que se busca en todas las obras.
 - Ambos recursos están directamente relacionados, dado que mientras menor sea el tiempo de terminación, menores serán los costos relacionados a mano de obra que se deben utilizar sobre éste.
- Secundarios:
 - o Bajar costo inicial.
 - Bajar los recursos económicos utilizados en el hormigón, partida fundamental en este tipo de obras, es algo sumamente importante.

¹ Planeidad: Calidad de plano, liso, sin imperfecciones u ondulaciones en su superficie (RAE).

² Control Geométrico: Explicado en el punto 3. Recolección de datos.



- Aumentar el ciclo de vida.
 - Aumentar en el ciclo de vida del hormigón, se logra a través de no tener que realizar tantas modificaciones a éste en el periodo de terminaciones.
- Obtener una base de datos confiables
 - Esto servirá más adelante para tomar medidas y poder comparar los resultados de esta partida cada vez que se realiza un nuevo nivel en la estructura.

Metodología.

Los pasos por seguir, para realizar la investigación deseada son:

1. Procedimiento Teórico.

1.1 Fase 1.

- Obtención de datos confiables de planeidad de muros y losas compuestas por H.A.³, que permitan una buena toma de decisiones.
 - Haciendo uso del control geométrico (explicado más adelante).
- Verificar la aprobación de la toma de puntos según el "Manual de Tolerancia" de la CDT⁴.
 - Toma de medidas de 1° ciclo, realizar análisis %Kpi (explicado en el punto 4.1.1).
 - Toma de medidas de 2° ciclo, realizar análisis %Kpi (explicado en el punto 4.1.1).
 - Toma de medidas de 3° ciclo, realizar análisis %Kpi (explicado en el punto 4.1.1).

1.2 Fase 2.

- Diseñar y construir procedimientos que permitan obtener un buen acabado de los elementos de Hormigón estudiados.
- Realizar aplicación de procedimientos previamente señalados.

1.3 Fase 3.

- Aplicar procedimientos generados en Fase 2.
- Repetir Fase 1 y Fase 2.

2. Procedimiento práctico.

2.1 Consideraciones.

- Disponer de un geomensor en obra, el cual realizara el levantamiento de puntos en forma oportuna.
- Considerar tiempo de procesamiento de datos y análisis de información.

2.2 Probables ventajas.

- Reducir incertidumbres.
- Se califica la obra gruesa.
- Facilita la toma de decisiones.
- Los costos en mano de obra debiesen disminuir.
- Permite un flujo continuo de trabajo, dado que eliminará errores en futura partidas.

2.3 Proceso de Control.

- Control durante el proceso de hormigonado.
- Levantamiento de puntos posterior al hormigonado, previo trazado e instalación de enfierradura.
- Entrega de resultados confiables.
- Entrega de informe concreto para una toma de decisiones futura.

³ H.A. : Hormigón Armado

⁴ CDT : Corporación de Desarrollo Tecnológico de la CChC (Cámara Chilena de la Construcción).

- Análisis de resultados, bajo análisis estadístico según CDT⁴ y Six Sigma.
- Acciones correctivas tras cada análisis de datos, para optimizar futura partida de hormigonado.

3. Recolección de Datos, haciendo uso de control geométrico.

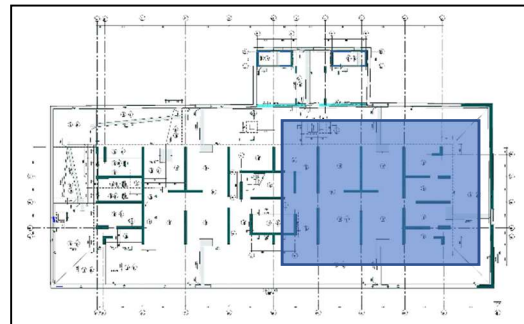
3.1 Descripción general del proceso.

Control de las desviaciones de la geometría de los elementos de hormigón armado respecto a su planeidad, verticalidad y horizontalidad.

3.2 Control en losa piso de Hormigón⁵.

3.2.1 Toma de puntos.

- Se establece una grilla⁶ de control en planta de puntos espaciados a un metro de distancia



*Figura 1: Esquema sectores toma de puntos en losas
(Informes control de obra gruesa edificio Caupolicán)*

3.2.2 Tolerancias aceptadas.

Las tolerancias aceptadas para las losas de hormigón se encuentran definidas en la tabla 1 donde el Grado 5 (G5) que es “recomendado para hormigones de superficies en pisos, losa o radier, destinado a ser cubierto con alfombras, madera, cerámica, otro material o dejada a la vista afinada” (Manual CDT⁴ 2013, p.16)

Longitud de losa	$L \leq 1,5m$	$1,5m < L \leq 3m$	$3m < L \leq 6m$	$L > 6m$
Grado	Máximo ± mm	Máximo ± mm	Máximo ± mm	Máximo ± mm
G5	3	5	7	10
G6	4	7	10	15

*Tabla 1: Tolerancias de terminación superficial de Losas
(Manual de tolerancias para edificaciones CDT⁴, 2013)*

⁵ Losa piso de Hormigón : cara superior de losa de H.A.¹

⁶ Grilla: rejilla de puntos a una distancia constante entre ellos.

3.2.3 Resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos son tabulados y se analizan si se cumple o no lo solicitado según Manual de Tolerancia, realizando una comparación con respecto a la ubicación teórica de dichos puntos, donde se destacan los puntos fuera de tolerancia. Los puntos levantados en terreno son representados en un esquema para poder identificarlos y realizar el análisis correspondiente e implementar mejoras si fuesen necesarias.

CHEQUEO HORIZONTALIDAD 1ª LOSA CIELO 3er SUBTERRANEO					
PISO:	LOSA DE NIVEL 2		FECHA:	22-09-2017	
PUNTO	COTA PROYECTADO	COTA REAL	DIFERENCIA EN mm	TOLERANCIA CDT (10mm)	Cumple
85	44,054	44,047	7	10	1
86	44,054	44,043	-11	10	0
87	44,054	44,043	-11	10	0
88	44,054	44,045	-9	10	1
89	44,054	44,046	-8	10	1
90	44,054	44,059	-5	10	1
91	44,054	44,046	8	10	1
92	44,054	44,053	1	10	1
93	44,054	44,051	3	10	1
94	44,054	44,048	6	10	1
95	44,054	44,045	9	10	1
96	44,054	44,046	8	10	1
97	44,054	44,041	13	10	0
98	44,054	44,047	7	10	1
99	44,054	44,050	4	10	1
100	44,054	44,047	7	10	1
101	44,054	44,050	4	10	1
102	44,054	44,045	9	10	1
103	44,054	44,044	-10	10	1
104	44,054	44,045	-9	10	1
105	44,054	44,048	6	10	1
106	44,054	44,045	9	10	1
107	44,054	44,048	6	10	1
108	44,054	44,049	5	10	1

ENTREGA TOPOGRAFICO	CHEQUEO Y ANALISIS
Total=	531
Suma >1	498

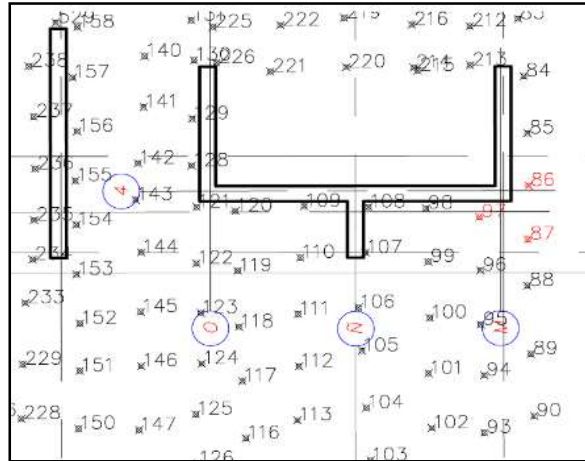


Figura 2: Resultados toma de puntos de losas en terreno (Informes control de obra gruesa edificio Caupolicán)

3.2.4 Análisis de resultados.

Los resultados globales del elemento hormigonado son representados en una gráfica, la cual expresa en términos porcentuales el cumplimiento respecto a la tolerancia, establecida por la razón entre el total de puntos tomados y el número de puntos aceptados (Kpi %). El porcentaje de cumplimiento aceptado es de un 95% con una desviación mínima del 5%. Los resultados también se entregan en forma acumulativa por elemento hormigonado para representar la tendencia de estos.



Figura 3: Análisis de resultados en losas (Informes control de obra gruesa edificio Caupolicán)

3.3 Control en muros de hormigón.

3.3.1 Toma de puntos.

Se establece una grilla⁶ de puntos de control en muros separados en tres niveles respecto a su altura; el primero en la parte inferior, el segundo en el centro y el tercero en la parte superior, espaciados a un metro de distancia.

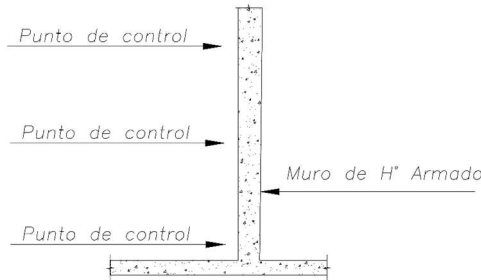


Figura 4: Esquema toma de puntos en muros
(Informes control de obra gruesa edificio Caupolicán)

Nota 1: Los puntos de los extremos superior e inferior se recomienda establecer a 15 cm del borde.

Nota 2: Se debe tener precaución de no tomar puntos en la unión de moldajes.

3.3.2 Tolerancias aceptadas.

Las tolerancias aceptadas para los muros de hormigón se encuentran definidas en la tabla 2, donde se comparan los resultados de los puntos obtenidos con el Grado 1 (G1) que es “recomendado para hormigones arquitectónicos a la vista. Para elementos de hormigón, cuya terminación superficial quedará expuesta en el elemento en servicio, sin tratamiento posterior que altere su forma” (Manual CDT⁴ 2013, p.14).

	Planeidad	Planeidad	Planeidad	Planeidad
Altura	$h \leq 1.5m$	$h \leq 3m$	$3 < h \leq 6m$	$h > 6m$
Grado	mm	mm	Mm	mm
G1	± 4	± 6	± 10	± 25
G2	± 5	± 7	± 12	± 30
G3	± 7	± 12	± 18	± 30
G4	± 8	± 15	± 20	± 30

Tabla 2: Tolerancias para la terminación del muro de hormigón según clasificación. (Manual de tolerancias para edificaciones CDT⁴)

3.3.3 Resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos son tabulados y analizados bajo la rigurosidad de los estándares de aceptación del CDT⁴, donde se destacan los puntos fuera de tolerancia. Los puntos levantados en terreno son representados en un esquema para poder identificarlos y realizar análisis correspondiente e implementar mejoras si fuesen necesarias.

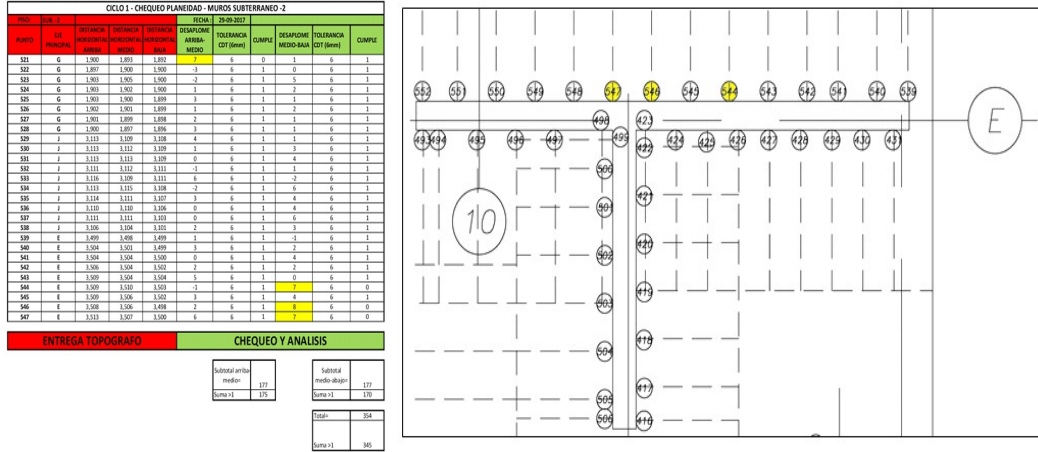


Figura 5: Resultados toma de puntos de muros en terreno (Informes control de obra gruesa edificio Caupolicán)

3.3.4 Análisis de resultados.

Al igual que en las losas, los resultados globales del elemento hormigonado son representados en una gráfica que expresa en términos porcentuales de cumplimiento respecto a la tolerancia, establecida por la razón entre el total de puntos tomados y el número de puntos aceptados (%Kpi). El porcentaje de cumplimiento aceptado es de un 95% con una desviación mínima del 5%, los resultados también se entregan en forma acumulativa por elemento hormigonado para representar la tendencia de estos.

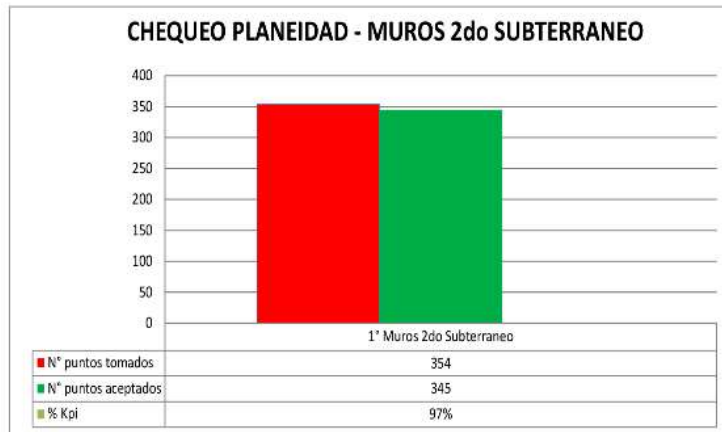


Figura 6: Análisis de resultados en muros (Informes control de obra gruesa edificio Caupolicán)



4. Análisis estadístico.

4.1 Indicadores estadísticos.

4.1.1 %Kpi

El %Kpi⁷, es conocido como un indicador clave de rendimiento estadístico es una medida de nivel del rendimiento de un proceso.

El valor del indicador está directamente relacionado con un objetivo fijado previamente, normalmente se expresa en valores porcentuales. La obtención de éste se realiza a través del cociente simple, entre la cantidad de datos conseguidos que cumplen con lo solicitado y la cantidad de puntos analizados.

$$\%Kpi = \frac{\text{Datos que cumplen}}{\text{Total de Datos}}$$

4.1.2 Media aritmética.

La media ⁸, es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

$$\text{Media} = \sum \frac{\text{Dato obtenido}}{\text{Cantidad de datos obtenidos}}$$

4.1.3 Valores mínimo y máximo.

1. Un elemento mínimo se define dualmente, como aquel $a \in A$ tal que cualquier otro es mayor o igual que él; es decir, tal que para todo $x \in A$, $a \leq x$, en la figura el elemento a es el mínimo de A .

1.1. Donde la tolerancia inferior⁹ será el indicador que utilizar. El cual representa el límite inferior del intervalo a estudiar.

$$LSL = \text{mínimo} \{ \text{intervalo a estudiar} \}$$

2. Un elemento máximo, se define dualmente, como aquel $a \in A$ tal que cualquier otro es menor o igual que él; es decir, tal que para todo $x \in A$, $a \geq x$, en la figura el elemento a es el máximo de A .

2.1. Donde la tolerancia superior¹⁰ será el indicador que utilizar. El cual representa el límite superior del intervalo a estudiar.

$$USL = \text{máximo} \{ \text{intervalo a estudiar} \}$$

⁷ %Kpi: Indicador clave de rendimiento (Key performance indicator).

⁸ Media: Promedio

⁹ Tolerancia inferior: con siglas LSL, por su significado en inglés Lower Specification Limit.

¹⁰ Tolerancia superior: con inglés USL, por su significado en inglés Upper Specification Limit.

**4.1.4 Desviación estándar.**

La desviación estándar¹¹ es la medida de dispersión para variables cuantitativas. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta sólo con conocer las medidas de tendencia central (tales como media, moda y mediana), sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con el objeto de tener una visión de estos más acorde a la realidad del momento al describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones. Siendo éste un parámetro necesario para la obtención de Sigma.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Donde:

- N: Cantidad de Datos.
- i: Contador.
- X_i: Dato i-esimo.
- \bar{X} : Media aritmética del conjunto de datos.

4.1.5 Productividad.

La productividad es la relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía, etc. Calcula el porcentaje de productos que están dentro de las tolerancias especificadas (y, por lo tanto, son conformes), para la cual existen dos métodos:

4.1.5.1 Método 1.

El primer método se obtiene utilizando la cantidad de elementos que no cumplen con los parámetros solicitados, versus el número de datos analizados y la probabilidad de error.

$$DPU = \frac{D}{N * O}$$

$$Productividad = (1 - DPU) * 100\%$$

Donde:

- D: Numero de datos detectados que no cumplen con lo solicitado.
- N: Numero de datos obtenidos
- O: Porcentaje de posibilidades de encontrar un defecto.
- DPU: Porcentaje de Defectos.

4.1.5.2 Método 2.

Mientras el segundo método requiere de un análisis estadístico más avanzado, el cual requiere del cálculo de los máximos y mínimos relativos al intervalo analizado, además de la media aritmética de éste.

I. Obtener área USL (Z₁):

$$Z_1 = \frac{USL - Media}{\sigma}$$

II. Obtener área LSL (Z₂):

$$Z_2 = \frac{LSL - Media}{\sigma}$$

¹¹ Desviación estándar: Denotada con el símbolo σ o s, dependiendo de la procedencia del conjunto de datos.



- III. De esta forma se estandarizan ambos parámetros, logrando la distribución de estos, utilizando la distribución normal estandarizada, como se muestra a continuación:

$$\text{Área para } Z_i = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2} * \pi} * e^{-\frac{Z_i * \bar{X}^2}{2 * \sigma^2}}$$

Donde:

- σ : Desviación estándar de los datos.
- π : 3.14159265358979323846... (cte.)
- e : Numero de Euler.
- Z_i : Valor a analizar entre las áreas obtenidas (Z_1 & Z_2).
- \bar{X} : Media aritmética.

- IV. Finalmente, la productividad se obtiene a partir de la resta entre las dos áreas:

$$\text{Productividad} = ((\text{Area } Z_1) - (\text{Area } Z_2)) * 100\%$$

4.1.6 Sigma.

Para la obtención de este parámetro se requiere de un análisis estadístico inverso, el cual se encuentra tabulado.

- Se busca el inverso de la distribución normal estándar acumulativa, dando el número de desviaciones típicas que un proceso puede aceptar para que un producto sea conforme. Mientras que, en la calidad de sigma, se calcula el nivel del proceso en función del rendimiento obtenido.

Por ejemplo, si sigma = 3 significa que un producto entra dentro de especificaciones en el 93,3% de los casos (como se puede apreciar en Tabla 3).

NIVEL EN SIGMA	DPMO	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

Tabla 3: Rango de Sigma con respecto a DPMO¹².

¹² DPMO: Defectos por millón de oportunidades.

**Resultados.****1. Puntos obtenidos mediante estación topográfica.****1.1** Resumen de obtención de datos, cantidad de puntos tomados y puntos aprobados según CDT⁴.

Nivel	Losa Piso			Muros		
	Pts Analizados	Pts Aceptados	Losa %	Pts Analizados	Pts Aceptados	Muros %
piso 01	587	509	86.71%	916	823	89.85%
piso 02	544	465	85.48%	1,228	1,107	90.15%
piso 03	387	382	98.71%	1,152	1,042	90.45%
piso 04	546	515	94.32%	802	702	87.53%
piso 05	678	618	91.15%	1,186	1,083	91.32%
piso 06	460	433	94.13%	1,186	1,131	95.36%
piso 07	566	559	98.76%	1,234	1,157	93.76%
piso 08	668	662	99.10%	882	842	95.46%
piso 09	559	531	94.99%	934	831	88.97%
piso 10	656	617	94.05%	366	315	86.07%
piso 11	781	721	92.32%	1,080	969	89.72%
piso 12	725	697	96.14%	310	271	87.42%

Tabla 4: Resumen de datos obtenidos a partir de control geométrico, siendo aplicado el criterio %Kpi (Tercera columna en losas y muros).



1.2 Representación gráfica.

1.2.1 Planeidad de Muros.

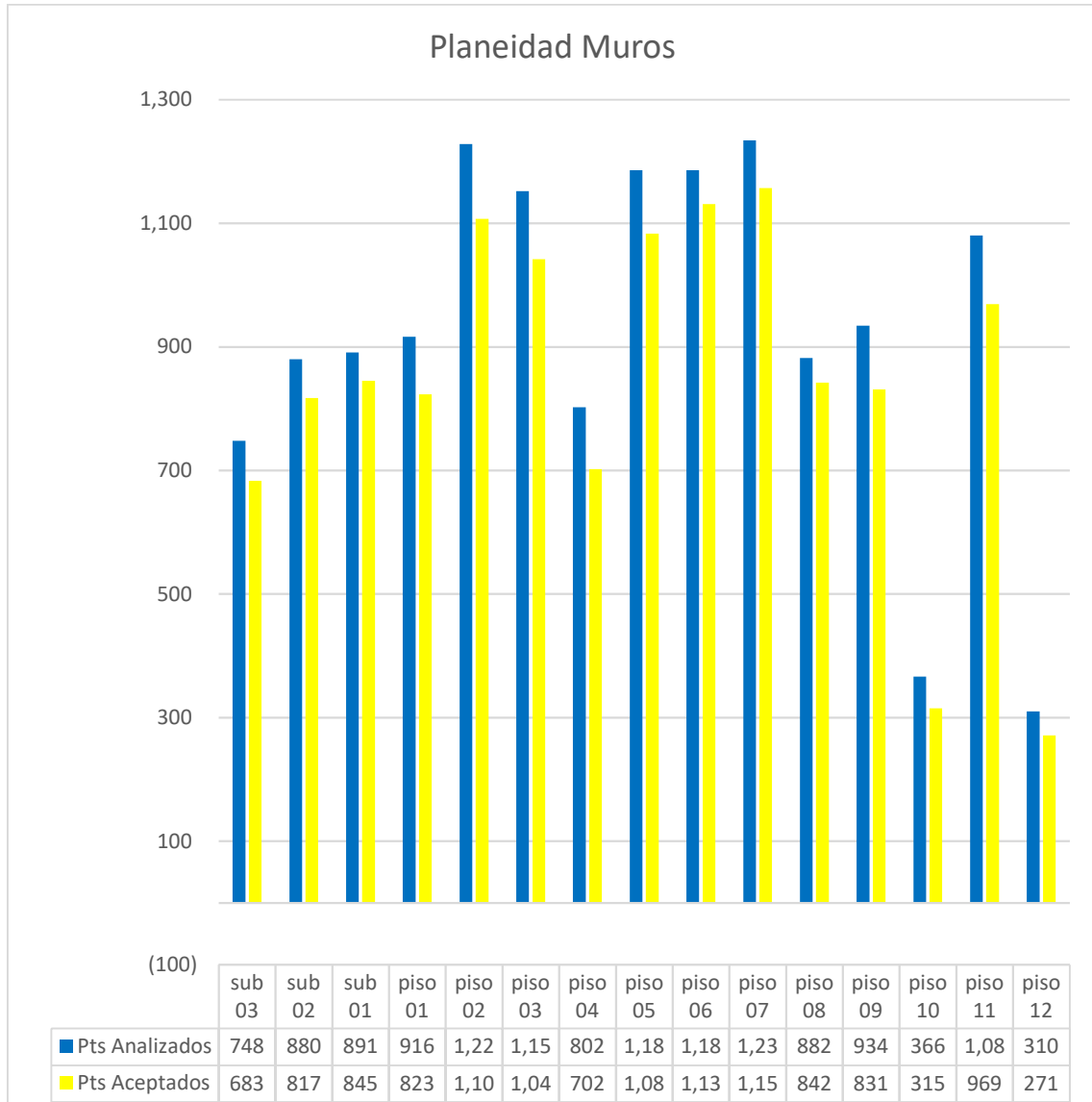


Gráfico 1: De color azul se aprecian las cantidades de puntos tomados en terreno, mientras que de color amarillo se muestran los puntos dentro del rango de aprobación según el Manual de Tolerancia del CDT⁴.



1.2.2 Horizontalidad en Losas piso.

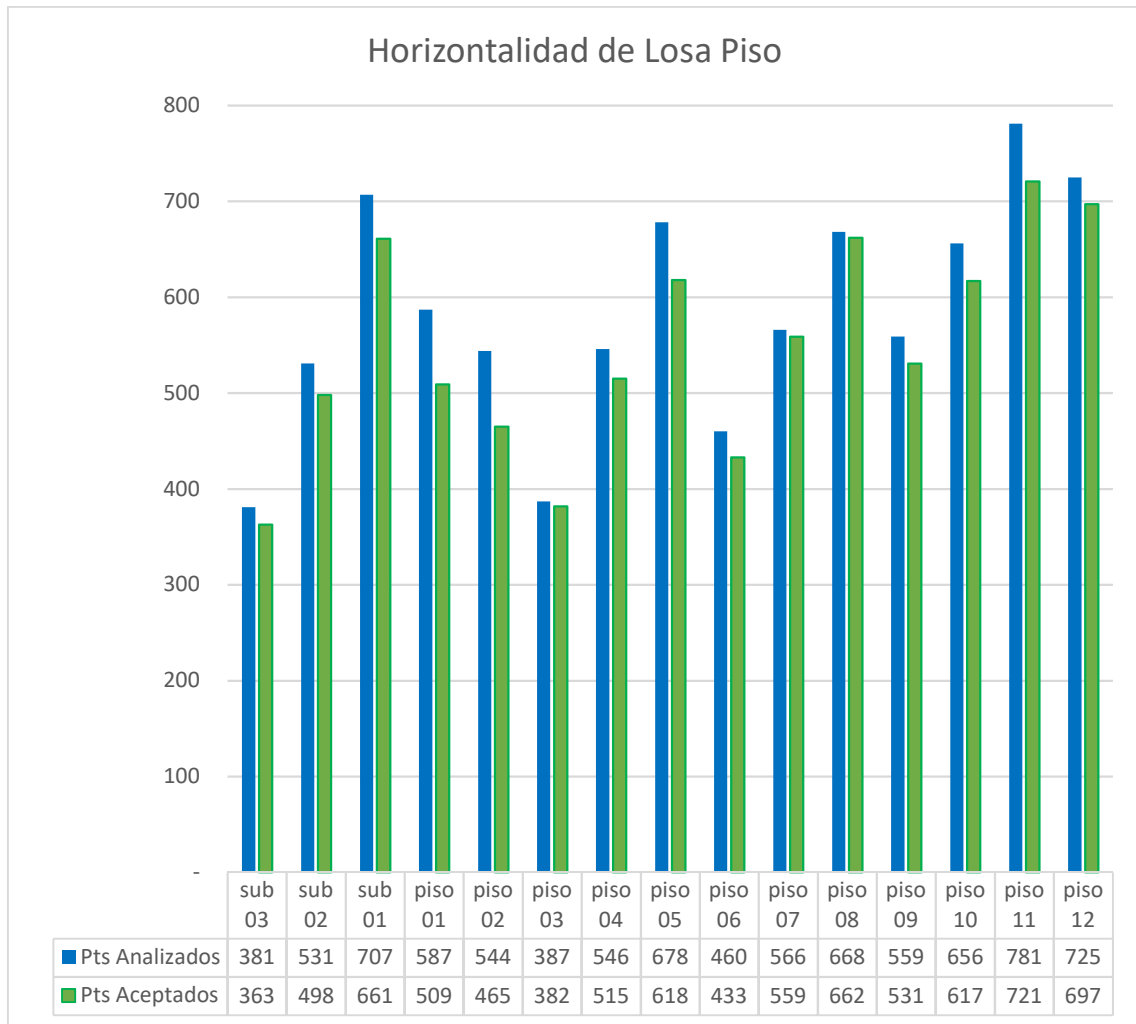


Gráfico 2: De color azul se visualiza la cantidad de puntos tomados en terreno, mientras que de color verde se muestran los puntos dentro del rango de aprobación según el Manual de Tolerancia del CDT⁴.

1.2.3 Porcentaje de aprobación por nivel.

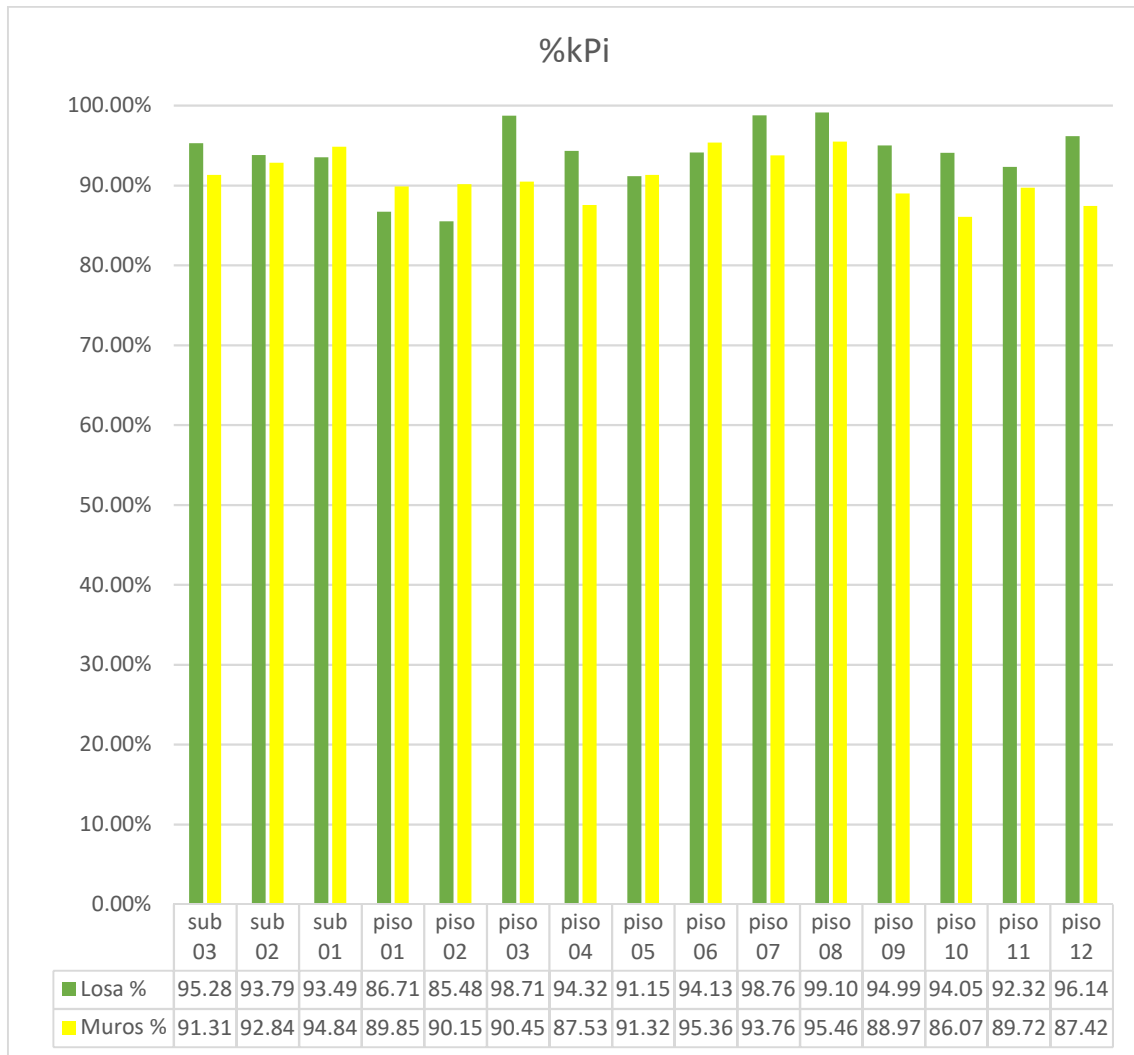


Gráfico 3: De color amarillo se muestran los porcentajes de aprobación en muros, y a su vez en color verde están representados los porcentajes de aprobación en losas piso.

En niveles donde no se logró obtener un 90% de aprobación en losas, se procede a realizar nivelación (haciendo uso de Martillo Demoledor Hexagonal) para obtener la planeidad deseada. Si ésta conlleva desniveles mayores a sobre 10 [mm] de lo solicitado y, si los desniveles son de 10 [mm] bajo lo solicitado, estos son compensados al momento de instalar cerámicos con bekron.

Los muros que no obtuvieron una planeidad aceptada por el CDT⁴, se deben regularizar mediante el uso de pulidora en los sectores que presenten un desnivel con dirección externa al eje de simetría del muro, mientras que en los muros que presentan una deformidad contraria a ésta, se les aplicará yeso para obtener el acabado deseado.



2. Resultados.

2.1 En nivel de losas.

Nivel	Defectos	Datos	Media	Rend S1	Nivel S1	Desviación	USL	LSL	Área USL	Área LSL	USL-LSL	% de Productividad	Sigma
Piso 01	89	544	0.84	82.78%	2.45	0.370	1	0	0.671	0.012	0.659	65.876%	1.909
Piso 02	1	387	1.00	99.73%	4.28	0.051	1	0	0.520	0.000	0.520	52.027%	1.551
Piso 03	77	546	0.86	85.16%	2.54	0.348	1	0	0.657	0.007	0.650	65.036%	1.886
Piso 04	60	678	0.91	90.68%	2.82	0.284	1	0	0.622	0.001	0.622	62.157%	1.810
Piso 05	27	460	0.94	93.82%	3.04	0.235	1	0	0.598	0.000	0.598	59.846%	1.749
Piso 06	11	301	0.96	96.15%	3.27	0.188	1	0	0.577	0.000	0.577	57.708%	1.694
Piso 07	7	566	0.99	98.70%	3.73	0.111	1	0	0.545	0.000	0.545	54.451%	1.612
Piso 08	6	668	0.99	99.05%	3.85	0.094	1	0	0.538	0.000	0.538	53.789%	1.595
Piso 09	28	559	0.95	94.73%	3.12	0.218	1	0	0.591	0.000	0.591	59.072%	1.729
Piso 10	39	656	0.94	93.74%	3.03	0.237	1	0	0.599	0.000	0.599	59.914%	1.751
Piso 11	60	781	0.92	91.91%	2.90	0.266	1	0	0.613	0.000	0.613	61.317%	1.788
Piso 12	28	725	0.96	95.93%	3.24	0.193	1	0	0.579	0.000	0.579	57.937%	1.700

Tabla 5: Resumen de análisis estadístico realizado a partir de datos de losas.

2.2 En niveles de muros.

Nivel	Defectos	Datos	Media	Rend S1	Nivel S1	Desviación	USL	LSL	Área USL	Área LSL	USL-LSL	% de Productividad	Sigma
Piso 01	165	916	0.82	81.04%	2.38	0.385	1	0	0.680	0.016	0.664	66.378%	1.923
Piso 02	121	1228	0.90	89.63%	2.76	0.298	1	0	0.629	0.001	0.628	62.823%	1.827
Piso 03	79	1152	0.93	92.78%	2.96	0.253	1	0	0.607	0.000	0.607	60.678%	1.771
Piso 04	134	802	0.83	82.41%	2.43	0.373	1	0	0.673	0.013	0.660	65.995%	1.912
Piso 05	174	1186	0.85	84.56%	2.52	0.354	1	0	0.661	0.008	0.653	65.278%	1.893
Piso 06	154	1208	0.87	86.58%	2.61	0.334	1	0	0.649	0.004	0.644	64.434%	1.870
Piso 07	129	1234	0.90	89.00%	2.73	0.306	1	0	0.634	0.002	0.632	63.193%	1.837
Piso 08	80	882	0.91	90.45%	2.81	0.287	1	0	0.624	0.001	0.623	62.309%	1.814
Piso 09	103	934	0.89	88.39%	2.69	0.313	1	0	0.638	0.002	0.635	63.527%	1.846
Piso 10	100	716	0.86	85.30%	2.55	0.347	1	0	0.656	0.007	0.650	64.982%	1.885
Piso 11	111	1080	0.90	89.18%	2.74	0.304	1	0	0.632	0.002	0.631	63.086%	1.834
Piso 12	106	866	0.88	87.12%	2.63	0.328	1	0	0.646	0.004	0.642	64.179%	1.863

Tabla 6: Resumen de análisis estadístico realizado a partir de datos de muros.



3. Análisis de Resultados.

Los resultados mostrados anteriormente, indican grandes variaciones entre un nivel y otro, dado que se tomaron medidas a lo largo del proceso, las cuales en algunos casos dieron mejoras sustancialmente importantes y de bajo costo. Estas mejoras no sólo ayudaron en el buen acabado, sino también a partidas de instalaciones

En consecuencia, se logró una mejora razonable, en algunas, que se esperaba que pudiesen presentar una mejora, no consiguieron lo esperado y/o no eran económicamente viables.

3.1 Comparativo.

3.1.1 Losas.

Cabe destacar que, en cuanto a losas (Ver Tabla 7), el grado de aceptación entregado por el Manual de Tolerancias es un grado razonablemente bueno, dado que en su totalidad se encuentran sobre el 85%, y en su mayoría sobre el 90% y, como estructura general, se encuentra sobre el 90%. Sin embargo, al ver los niveles de productividad, se ven niveles preocupantemente bajos, dado que su nivel sigma es inferior a 2.

Nivel	CDT			Sig Sixma		
	Pts Analizados	Pts Aceptados	Losa %	Rend S1	Productividad	Sigma
piso 01	587	509	86.71%	82.78%	65.88%	1.909
piso 02	544	465	85.48%	99.73%	52.03%	1.551
piso 03	387	382	98.71%	85.16%	65.04%	1.886
piso 04	546	515	94.32%	90.68%	62.16%	1.810
piso 05	678	618	91.15%	93.82%	59.85%	1.749
piso 06	460	433	94.13%	96.15%	57.71%	1.694
piso 07	566	559	98.76%	98.70%	54.45%	1.612
piso 08	668	662	99.10%	99.05%	53.79%	1.595
piso 09	559	531	94.99%	94.73%	59.07%	1.729
piso 10	656	617	94.05%	93.74%	59.91%	1.751
piso 11	781	721	92.32%	91.91%	61.32%	1.788
piso 12	725	697	96.14%	95.93%	57.94%	1.700
General	6,570	6,148	93.58%	93.37%	56.43%	1.662

Tabla 7: Comparativo entre resultados de losas dados por el "Manual de Tolerancia" (CDT⁴), versus productividad de Six Sigma.

3.1.2 Muros.

De forma paralela, es apreciable en muros (Ver tabla 8), a pesar de tener niveles menores de aceptación, bajos los estándares de aceptación del CDT⁴. Este consta de una categoría mayor de productividad, dado que sus rangos de dispersión de puntos, es más uniforme y se encuentran con un grado menor de dispersión, dando por consecuente un nivel mayor en sigma.

Nivel	CDT			Sig Sixma		
	Pts Analizados	Pts Aceptados	Muros %	Rend S1	Productividad	Sigma
piso 01	916	823	89.85%	81.04%	66.38%	1.923
piso 02	1,228	1,107	90.15%	89.63%	62.82%	1.827
piso 03	1,152	1,042	90.45%	92.78%	60.68%	1.771
piso 04	802	702	87.53%	82.41%	66.00%	1.912
piso 05	1,186	1,083	91.32%	84.56%	65.28%	1.893
piso 06	1,186	1,131	95.36%	86.58%	64.43%	1.870
piso 07	1,234	1,157	93.76%	89.00%	63.19%	1.837
piso 08	882	842	95.46%	90.45%	62.31%	1.814
piso 09	934	831	88.97%	88.39%	63.53%	1.846
piso 10	366	315	86.07%	85.30%	64.98%	1.885
piso 11	1,080	969	89.72%	89.18%	63.09%	1.834
piso 12	310	271	87.42%	87.12%	64.18%	1.863
General	12,204	10,748	88.07%	87.72%	63.99%	1.858

Tabla 8: Comparativo entre resultados de muros dados por el "Manual de Tolerancias" (CDT⁴), versus productividad en Six Sigma.

3.2 Medidas adoptadas en terreno.

Entre las medidas adoptadas podemos resaltar:

1. *Estandarización del trazado:*
Se realiza ficha técnica para protocolizar el procedimiento de trazado, el cual es llevado a cabo por control de calidad.
2. *Recesos de Aislapol, para evitar uso de Testiguera y/o Martillo Demoledor Hexagonal:*
Se realizan instalaciones de elementos de Aislapol de alta densidad de diversas dimensiones en sectores específicos de la losa para el paso de distintas especialidades (clima, sanitarias, gas, eléctricas, etc.).



Imagen 1

Receso de Aislapol utilizado en Obra Caupolicán.

3. *Cálculo de altura de llenado:*
Se realiza medición in situ para cada muro en forma independiente, tomando en cuenta la desnivelación milimétrica de la ubicación de éste.
4. *Instalación de enfierradura para gradas de buque con antelación:*
La instalación de la enfierradura con antelación permite evitar un futuro picado, además de dar la facilidad de realizar la pendiente en las terrazas desde un principio.



Imagen 2

Instalación de enfierradura y de moldajes, antes de hormigonado.

5. *Demarcación de zonas de seguridad:*

Se marca ubicación de tuberías de posible complejidad por ubicaciones riesgosas.



Imagen 3

Instalaciones en losa de avance.



Imagen 4

Instalaciones marcadas con Espray.



Imagen 5

Vista inferior post-hormigonado.

6. *Insertos metálicos para evitar el uso de dowells:*

Previo al hormigonado de losa se colocan tubos de acero de 5/8" sobre placa fenólica, para sujetar en ellos los estabilizadores de moldaje de muros



Imagen 6

Inserto metálico, con cabeza de perno.



Imagen 7

Inserto metálico, recubierto con tubo de PVC, para facilitar retiro, y recubierto en su cabeza con cinta adhesiva para futuro encuentro de éste.



Imagen 8

Inserto metálico cumpliendo su función.

7. *Cambio correspondiente de moldaje:*

Se mantiene una verificación constante del estado de los moldajes utilizados, para prevenir fallos de estos en el hormigonado.

8. *Ajustes metálicos:*

Incorporar compensaciones metálicas en uniones de moldaje, eliminando ajustes de madera, minimizando desviaciones en uniones de moldaje y aumentando la vida útil de la compensación.



Imagen 9

Ajuste Metálico.



Imagen 10

Ajuste metálico sujeto a placas de moldaje.



Imagen 11

Ajuste metálico correctamente instalado.

9. *Negativos metálicos:*

Estructuras metálicas construidas para facilitar la confección de escaleras de hormigón armado, permitiendo un acabado deseado desde un principio, disminuyendo las faenas húmedas de picado o descarachado.



Imagen 12

Negativo metálico de escalera instalado, y listo para hormigonado

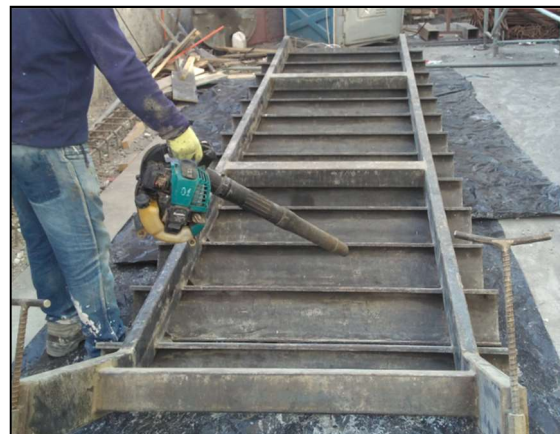


Imagen 13

Negativo metálico de escalera siendo limpiado.

10. Sello en uniones de moldajes horizontales:

En uniones de placa fenólica se instala cintas adhesivas para obtener un acabado homogéneo visto desde el piso inferior.

11. Polímeros deformables en uniones de moldajes:

En uniones de estructuras de hormigón en distintos sentidos, se instala una esponja de alta densidad y sellándola posteriormente con alguna masa plástica (en este caso yeso), la cual absorberá gran cantidad de lechada¹³ que se pudiese liberar, previniendo una pérdida de ésta.

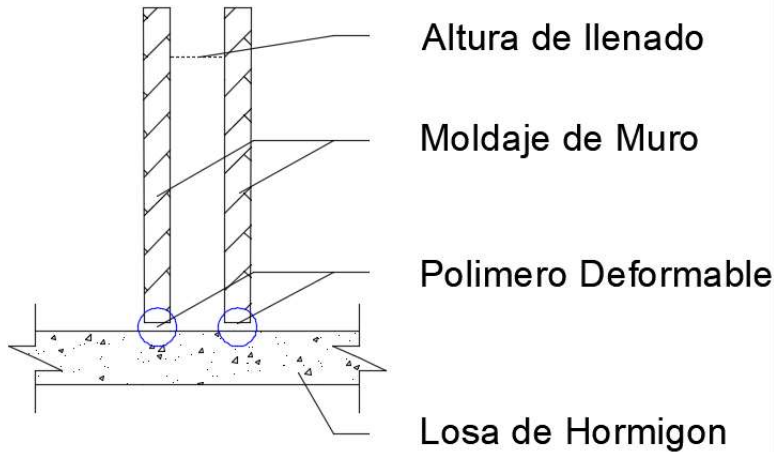


Imagen 14

Ubicación de polímero deformable.



Imagen 15

Ubicación de elemento utilizado en terreno.

¹³ Lechada: fluidos de hormigón con gran cantidad de agua en su composición.



3.3 Resultado de medidas adoptadas.

1. Lograr un estándar en la solicitud de trazado mejorará su calidad y, al verificar dicha partida, se evitarán posibles fallos en cambios de espesores de muros, modificaciones en enfierradura, entre otros (*Medida 1*).
2. Para mantener una continuidad en losas, tanto en cielo (inferior losa) como en piso (superior losa), existen algunos métodos recomendados:
 - (1) Prevenir futuros picados o uso de Testiguera, los cuales pueden no ser continuos en superficies, pudiendo presentar futuros problemas en instalaciones, tales como dimensiones inferiores a las requeridas (debido a posibles modificaciones en partida de terminaciones) o ruptura de algún elemento que no estuviese considerado (*Medida 2*).
 - (2) Mantener continuidad en la altura de llenado. Se realiza la medición in situ para cada muro en forma independiente, manteniendo un nivel de losa cielo continuo entre distintos puntos de ésta dentro de una habitación (*Medida 3*).
 - (3) No usar recursos innecesarios en las terrazas (sectores que tienen una pendiente predefinidas), la cual se da a cabalidad haciendo uso de bekron en la instalación de cerámicos. Se puede delimitar el sector instalando enfierradura, la que será utilizada en las vigas invertidas (*Medida 4*) y darle una pendiente cercana a la requerida por arquitectura (instalación de enfierradura para gradas de buque con antelación).
 - (4) Prevenir la destrucción de algún elemento de instalación que pudiese pasar por el interior. Se recomienda la demarcación de éstas (*Medida 5*).
3. Se debe buscar la mejor manera de afianzar los puntales para moldajes verticales, con la finalidad de que estos no tengan variaciones de aplomado cuando se está vertiendo y/o vibrando la mezcla (*Medida 6*).
4. Tanto el material como el estado del moldaje son aspectos de gran relevancia, dado que el material condiciona la cantidad de usos que se le puede dar y el estado de éste define si será su último uso o no (*Medida 7*).
5. En caso de no tener moldajes verticales de las dimensiones requeridas, se utilizan ajustes metálicos, los cuales tienen una vida útil mayor que elementos de madera, que se utilizan normalmente con la misma finalidad (*Medida 8*).
6. Para elementos como escaleras y vanos, tales como puertas y/o ventanas con y sin pendientes en su alfeizar, se utilizarán elementos metálicos, los cuales se usarán en conjunto al moldaje, para dar forma a estos, permitiendo un buen acabado tras el descimbre de los moldajes aledaños, previniendo futuros picados y dando dimensiones constantes a cada elemento (*Medida 9*).
7. Se debe tener especial cuidado en aquellas zonas que pudieran presentar filtraciones de mortero de cemento, los cuales deberán ser obstruidos, para que ésta no logre filtrar (*Medidas 10 y 11*).
 - (1) En uniones de moldaje en plano horizontal, el uso de sellos en placa fenólica tiene una gran eficacia. Sin embargo, la instalación es lenta, retrasando las partidas posteriores. Asimismo, tras el descimbre del moldaje, se deben retirar las cintas adhesivas, lo cual requiere el uso de personal siendo un procedimiento lento, atrasando partidas posteriores tales como pulido, picado y esparcimiento de yeso, entre otras, por lo cual no es recomendable hacer uso de ésta si las placas fenólicas son de dimensiones pequeñas (*Medida 10*).
 - (2) En uniones de moldaje para hormigón en plano vertical y horizontal, se recomienda el uso de polímeros en uniones, ya que este procedimiento es de fácil y rápida instalación (*Medida 11*).

4. Análisis de medidas

Lo anteriormente mencionado, se logra ratificar mediante la comprobación de datos tomados en terreno, la cual se obtiene mediante la verificación de sigma entre los sectores aplicados de cada elemento, comparando en el nivel que se realizó y el anterior, o el siguiente dependiendo de cada piso, dado que estos constan con un registro de ubicación de medidas adoptadas, y a su vez la toma de puntos consta con un registro de ubicación, donde se tomó como aprobado si es mayor a un 5%.

Al tomar distintas medidas, (tales como estandarización de trazado, receso de Aislapol y cambio de moldajes, entre otros) a lo largo de la reiteración de ciclos de hormigonado, se pudo revalidar la efectividad de éstas y, a su vez, se pudo comprobar la importancia de otras tantas (como se puede apreciar en la Tabla 9), tales como la importancia de mantener una estandarización del trazado y el cambio de los moldajes, de los cuales depende directamente el acabado del hormigonado. A su vez, se logró hacer un cuadro comparativo (Tabla 10), el cual compara los detalles de costos y funcionalidad prácticos.

N°	Medida Adoptada	Piso 01	Piso 02	Piso 03	Piso 04	Piso 05	Piso 06	Piso 07	Piso 08	Piso 09	Piso 10	Piso 11	Piso 12	Global
1	Estandarización del trazado	N/A	N/A	N/A	N/A	2.14%	2.02%	2.42%	1.46%	N/A	N/A	3.88%	N/A	2.38%
2	Recesos de Aislapol	16.95%	-14.57%	5.53%	3.14%	2.33%	2.54%	0.36%	-4.33%	-0.99%	-1.83%	N/A	N/A	0.91%
3	Calculo Altura de llenado	N/A	-2.15%	5.32%	-0.72%	-0.84%	-1.24%	-0.88%	1.22%	1.46%	-1.90%	1.09%	-0.19%	0.11%
4	Instalación de enfierraduras para gradas de buque	N/A	N/A	-13.01%	2.88%	2.31%	2.14%	3.26%	0.66%	-5.28%	-0.84%	-1.40%	N/A	-1.03%
5	Demarcación de zonas de seguridad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-2.99%	-0.66%	4.79%	0.68%	1.07%	-2.70%	N/A	0.03%
6	Insertos metalicos	N/A	N/A	N/A	N/A	2.14%	2.02%	2.42%	1.46%	-2.06%	-3.09%	3.88%	-2.07%	0.59%
7	Cambio de moldajes	N/A	N/A	N/A	7.84%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.27%	-2.89%	N/A	2.41%
8	Ajustes metalicos	-2.52%	-0.50%	2.53%	-0.71%	-0.59%	-0.59%	-0.29%	0.42%	0.82%	-0.99%	0.49%	N/A	-0.18%
9	Negativos metalicos	N/A	N/A	N/A	-0.60%	0.56%	0.34%	0.12%	0.07%	0.03%	-0.45%	0.39%	-0.08%	0.04%
10	Sello en uniones de moldajes	N/A	1.55%	N/A	N/A	N/A	0.097%	N/A	N/A	N/A	-0.07%	-0.21%	0.32%	0.34%
11	Polimeros deformables en uniones de moldaje	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4.33%	0.99%	N/A	N/A	2.66%

Tabla 9 Porcentaje de eficiencia de cada medida utilizada durante el proceso de construcción.

N°	Medida Adoptada	Funcionalidad	Rentable
1	Estandarización del trazado	Cumple	Cumple
2	Recesos de Aislapol	Cumple	Cumple
3	Calculo Altura de llenado	Cumple	No Cumple
4	Instalación de enfierradura para gradas de buque	No Cumple	Cumple
5	Demarcación de zonas de seguridad	Cumple	No Cumple
6	Insertos metálicos	Cumple	Cumple
7	Cambio de moldajes	Cumple	Cumple
8	Ajustes metálicos	No Cumple	No Cumple
9	Negativos metálicos	Cumple	No Cumple
10	Sello en uniones de moldajes	Cumple	No Cumple
11	Polimeros deformables en uniones de moldaje	Cumple	Cumple

Tabla 10 Muestra la Rentabilidad y funcionalidad.



5. Conclusiones.

1. Se recomienda hacer uso de medidas tales como: estandarización del trazado, recesos de Aislapol, insertos metálicos, cambios de moldajes en su debido tiempo y colocar polímeros deformables en uniones de moldaje en sentido Horizontal con vertical. Son medidas que demuestran una funcionalidad considerable y baja variación en lo que respecta a costos, dado que el análisis de estas medidas demuestra un factor de aumento Six sigma mayor a un 5%, además de una variación de costos despreciable en comparación a lo ahorrado en terminaciones.
2. Ahora bien, si hablamos de medidas como el cálculo de altura de llenado, es una opción rentable en el caso de tener una gran cantidad de muros de H.A. en la estructura, y a su vez, la demarcación zonas de seguridad se vuelve rentable solo si existe gran cantidad de tuberías que pasan en zonas donde se deban realizar perforaciones en faenas posteriores. Además, los ajustes y negativos metálicos son rentables solo en edificaciones donde exista una mayor cantidad de pisos.
3. A su vez existen otras medidas que, tras la recolección de datos, como por ejemplo insertos metálicos para gradas de buque y sello de uniones en moldajes horizontales, consumen muchas H.H. y su funcionalidad no son tan satisfactorias como pudiese esperarse.

**Bibliografía.**

- Corporación de Desarrollo Tecnológico de la CChC (2013), Manual de Tolerancias N°36, Segunda edición, "Muros de Hormigón armado", Santiago, Chile.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico de la CChC (2013), Manual de Tolerancias N°36, Segunda edición, "Losas de Hormigón armado", Santiago, Chile.
- Ronald D Snee (1999), Quality Progress, "Why Should Statisticians Pay Attention to Six Sigma?", New York, USA.
- Roger W. Hoerl (1998), Quality Progress, "Six Sigma and the Future of the Quality Profession", New York, USA.
- Alukal, George y Anthony Manos (2002), The quality management forum 28, "Lean Manufacturing", USA.
- Greg Brue (2002), The six sigma for managers, New York, USA.
- George Eckes (2001), The Six Sigma Revolution, New York, USA.
- Michael L. (2002) Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with lean speed, New York, USA.
- Área de innovación y desarrollo, S.L. (2017), Metodología e implementación Six Sigma, Valencia, España.
- Revista chilena de ingeniería (2014), Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico, Santiago, Chile.
- George Eckes (2003), El Six Sigma para todos, Bogotá, Colombia.