

Hacia la Gestión de la Calidad en los Procesos Constructivos Towards Quality Management in the Construction Processes

M. Mellado E.1

**1Escuela de Ingeniería en Construcción, Universidad Central de Chile
mmellado@ucentral.cl, phone 56-02-25826835**

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del
artículo:

Recibido
29-11-2013
Aceptado
11-12-2013
Publicado
20-12-2013

Palabras Claves:
Gestión de
Construcción
Calidad
Procesos
Constructivos

Article history:

Received
29-11-2013
Accepted
11-12-2013
Available
20-12-2013

Keywords:
Building
Management
Quality
Construction
Processes

Resumen

La industria de la construcción ha venido incorporando a su gestión significativa innovaciones, mejoras y tecnologías, sin embargo aún queda por dar un paso significativo hacia la certificación de la calidad de las construcciones. El tema en cuestión no radica en la calidad de los materiales empleados, sino más bien, en la calidad con la cual se llevan a cabo realmente los procesos constructivos, de forma de obtener un producto de calidad.

El presente trabajo intenta contribuir en dicha dirección, recopilando y analizando el trabajo de campo efectuado en el seguimiento de procesos constructivos a través de la metodología seis sigma. El seguimiento se efectuó desde el año 2006 al año 2010, en diversas empresas, incluyendo procesos de fundaciones, muros y losas en edificación en altura y extensión, a través de memorias de ingeniería civil e ingeniería en construcción.

En él se plantean los resultados obtenidos y desde ellos se desarrolla una propuesta específica para Obra Gruesa, que puede ser expandida a los otros macro procesos constructivos.

Abstract

The construction industry has been adding to its significant management innovations, improvement and technologies, however it remains to be a significant step toward the certification of the quality of buildings. The issue in question is not the quality of the materials used, but rather, the quality with which actually carried out the construction process, so as to obtain a quality product.

This paper aims to contribute in this direction, collecting and analyzing field work conducted in monitoring construction processes through Six Sigma. Monitoring was conducted from 2006 to 2010 in various companies, including processes for foundations, walls and slabs in building height and extension, through memories of civil engineering and engineering construction.

It raises the results obtained and from them develop a specific proposal for structural work, which can be expanded to other macro construction processes.

1. Introducción

La calidad y la productividad en la industria de la construcción no es un hecho casual, son la resultante de la disposición a “hacer bien las cosas”, esta disposición no debe entenderse como la preocupación de una o varias personas en la organización, sino que más bien la ocupación de todos de hacer bien su labor y una sola vez, esto implica que la productividad y la calidad son parte de la cultura de la empresa. Este cambio en la cultura en las empresas constructoras debe ser abordado como un mejoramiento continuo, que al ir teniendo éxito permean a la organización e incentiva a seguir mejorando.¹

El presente trabajo, reporta los análisis de calidad efectuados en varios procesos de obra gruesa, empleando como metodología de análisis Seis Sigma. El proceso metodológico empleado, así como los resultados obtenidos, permiten plantear sugerencias de mejoramiento que van en la dirección de los procesos, y en la propia gestión de la obra de construcción y empresa.

El trabajo de campo, fue desarrollado por estudiantes memoristas de Ingeniería en Construcción e Ingeniería Civil en Obras Civiles de las Universidad Central de Chile y de la Universidad de Santiago de Chile, quienes aplicaron la metodología Seis Sigma fielmente, efectuando un levantamiento de información sobre las empresas

constructoras, los procesos constructivos y los resultados de la calidad de los productos obtenidos, actuando siempre como agentes externos, de forma de recoger la información sin interferir en los protocolos de cada empresa.

2. Elementos claves en los procesos constructivos de Obra Gruesa

Tal como fuese planteado, una de las mejores estrategias de implementación de la cultura de calidad en las empresas, es la mejora continua¹; es en tan sentido que en cada una de las obras en las cuales se implementó el análisis de calidad en los procesos constructivos de obra gruesa, se procedió en primera instancia a seleccionar el proceso más significativo.

La selección del proceso, efectuada de común acuerdo con las respectivas empresas consideró fundamentalmente dos variables: la importancia técnica del proceso para la calidad del producto global (vivienda, edificio, etc.) y la significancia económica de él. Esta última medida como el porcentaje de participación del proceso en la obra gruesa. A su vez la importancia técnica del proceso, fue recogida como la participación del proceso en análisis en la modelación estructural de la obra.

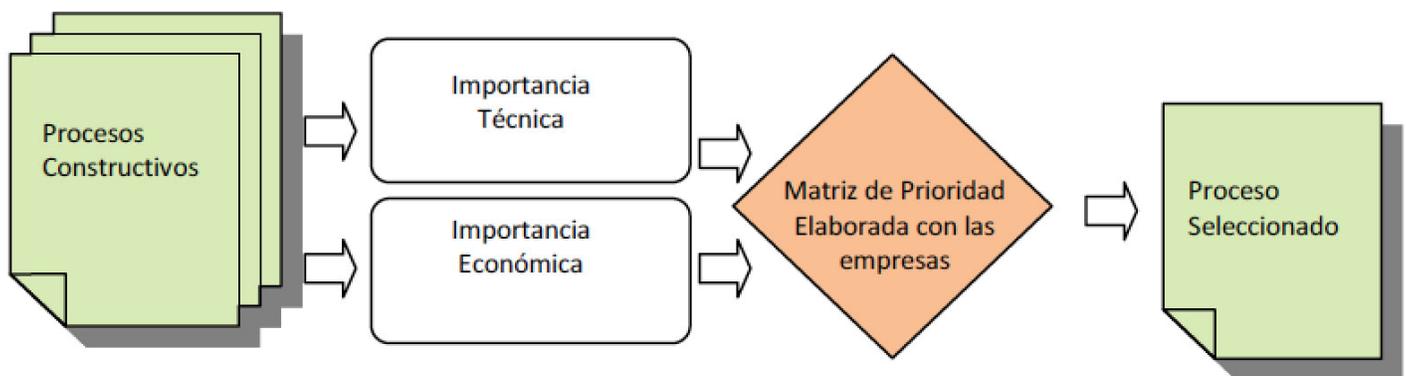


Figura 1: Selección de proceso Constructivo

¹ Luna-Villarreal, K., & González-Tamez, C. A.. “Implementación de Sistema de Calidad en la Industria de la Construcción: Hacia un Modelo Cualitativo de Evaluación” Architecture, City and Environment. España. pp: 412-435. February . 2007. [2007-62977

² Mellado-Espinoza, M. “Gestión de Calidad en la Industria del Hormigón”, Revista EMB Construcción, 2009

En los procesos de construcción de obras de edificación en altura, resultaron ser significativos la Losas y Muros de Hormigón Armado. En el caso de Edificación en extensión, los procesos fueron los Muros de Albañilerías.

3. Procedimientos de Aplicación de Metodología Seis Sigma

El análisis de la calidad de los procesos constructivos, fue abordado con la adaptación de la Metodología Seis Sigma a la Construcción. Si bien, la metodología fue introducida como herramienta de gestión de procesos de fabricación industrial, en la cual se produce un mismo elemento reiterativamente en líneas de producción, ella puede ser adaptada a la Construcción, bajo dos considerandos; en la construcción a diferencia de la industria fabril la línea de producción se mueve en torno a un producto que permanece estacionario, en segundo lugar si bien los productos pueden diferir de obra en obra, ellos tecnológicamente son los mismos o similares. Ambos considerandos llevan a que los preceptos de producción en línea se pueden aplicar en la construcción.

La metodología tiene como objetivo disminuir la variabilidad de la calidad de los productos, basando en el esquema DMAMC (Definir – Medir – Analizar – Mejorar – Controlar) en un ambiente de mejora continua. La definición implica explicitar las dimensiones de calidad a incorporar en cada elemento (Flecha, Planeidad, Verticalidad, etc.). Medir, corresponde al seguimiento del proceso constructivo, para registrar las causas de no conformidad, frecuencia y medir las dimensiones de calidad estipuladas para el elemento constructivo. El análisis, implica la determinación del nivel de calidad empleando el análisis estadístico y las causas de no calidad a ser incorporadas en las estrategias de mejoramiento mediante análisis de Pareto, las que serán implementadas y luego controladas en las fases siguientes.

En el caso de los elementos de hormigón armado, se optó por medir la calidad del proceso más que la calidad de los materiales, los cuales en estudios anteriores¹ se evidencio que cumplían ampliamente las especificaciones. Estableciendo como dimensiones de la calidad; flecha, planeidad y defectos superficiales para las losas, y verticalidad, planeidad y defectos superficiales para muros. Para las tolerancias admisibles se empleó el Manual de Tolerancias de Centro de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción.

Para el seguimiento de los procesos, se efectuaron permanentes visitas de inspección a las obras (dado que el trabajo se efectuó bajo confidencialidad de los resultados, se omite el nombre las empresas), que no interfirieran con la ejecución de los procesos, pero que fueran registrando las diferentes causales de no conformidad en concordancia con los manuales de proceso de las empresas o con la lógica constructiva en el caso que no existieran manuales de procesos. Se registraron las causas y sus frecuencias, empleando como herramienta los diagramas de causa– efecto Ishikawa basado en las 6M.² Las causas de no conformidad, después se priorizan acorde con el nivel de impacto de ellas en la dimensión de calidad del elemento, luego se analizan con el diagrama de Pareto, aplicando la regla del 20- 80 (pocas causas 20% de ellas, concentran muchos efectos 80%), lo que permite priorizarlas en las estrategias de mejoramiento.

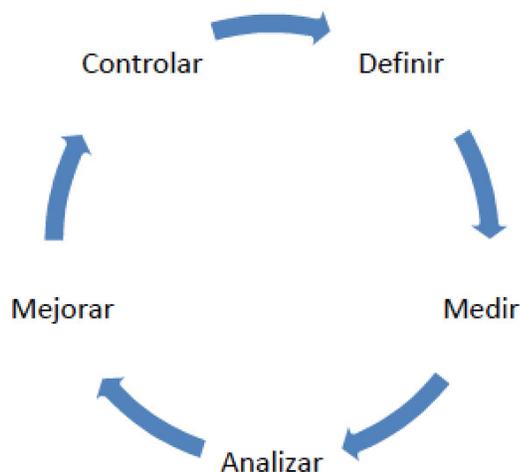


Figura 2. Esquema DMAMC

³ Pinilla, Macarena y Razeto, Dominy., 2006; Balmaceda, Felipe y Chahuan Juan, 2008 y Hultazo Ibarra, Javier., 2008

⁴ Mellado-Espinoza, M. “Seis Sigma en el Rediseño de procesos Constructivos”, Revista Ingeniería al Día, 2008.

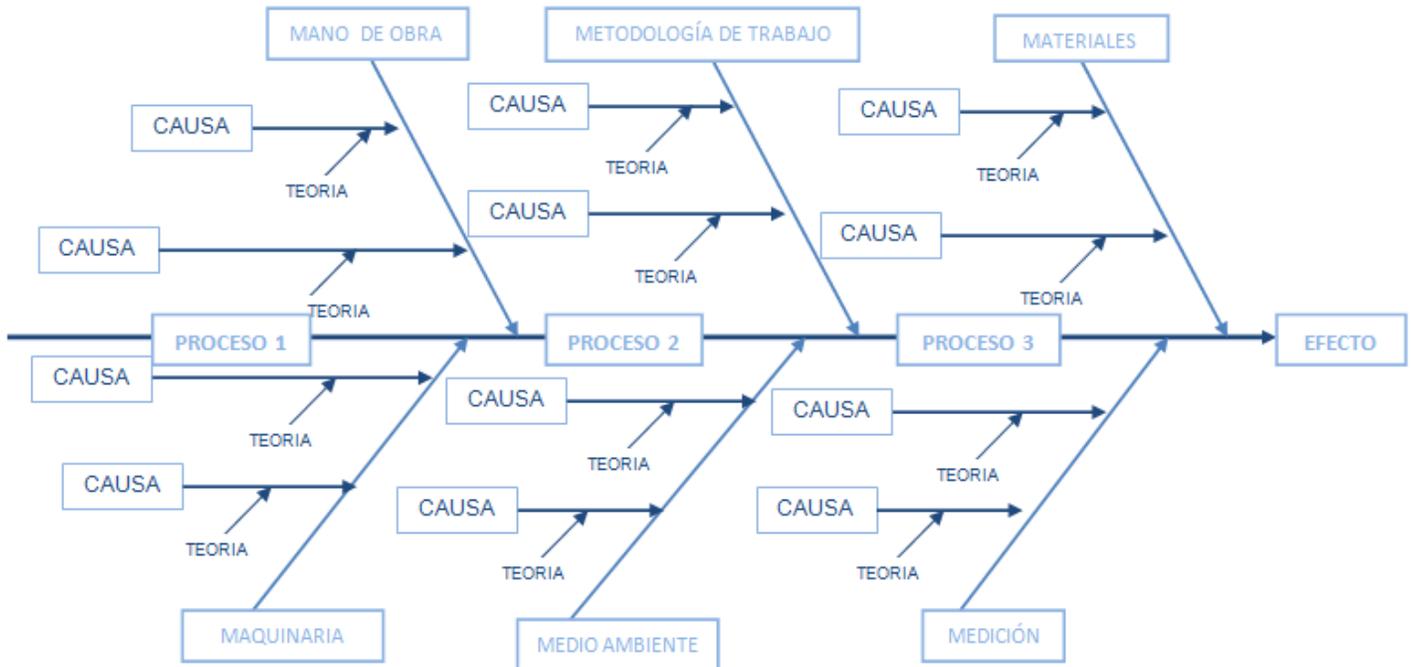


Figura 3 Diagrama Causa – Efecto 6M

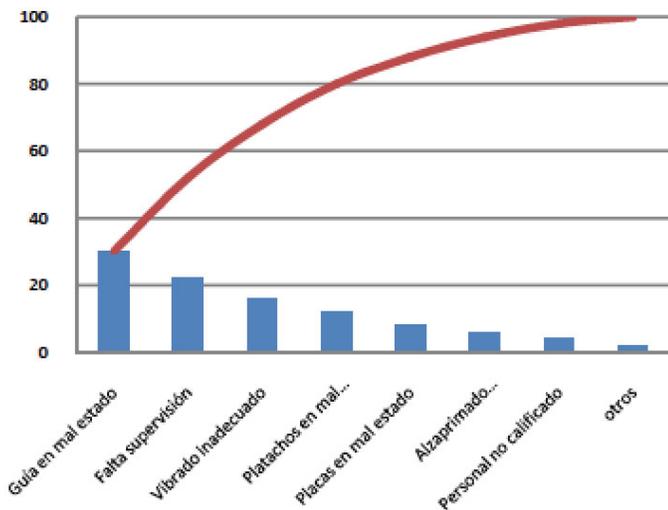


Figura 4 Diagrama de Pareto Losas de Hormigón Armado.

La medición de los niveles de calidad, se efectúa en paralelo, empleando instrumentos preferentemente (nivel láser y nivel topográfico, entre otros). Los datos obtenidos se van registrando, para ser procesados más tarde, con un conjunto de herramientas estadísticas (histogramas, cartas de control, pruebas de normalidad de los datos, capacidad de proceso y nivel sigma). Las primeras herramientas se aplican para verificar que el proceso se encuentra bajo control y que los datos provienen de una distribución de probabilidades Normal, luego de verificado dicha hipótesis se determina la capacidad de mejoramiento y el nivel de calidad sigma.

$$Z_{\text{sup}} = \left| \frac{ES - \mu}{\sigma} \right| \quad Z_{\text{inf}} = \left| \frac{\mu - EI}{\sigma} \right|$$

$$Z_{\text{proceso}} = \min(Z_{\text{sup}}, Z_{\text{inf}})$$

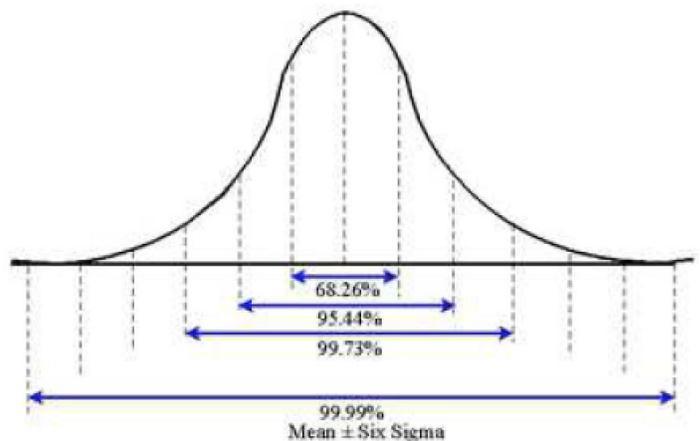


Figura 5 Nivel Sigma de Calidad

4. Resultados sobre la Calidad de los Procesos

El análisis de los procesos constructivos incluyó; las Losas de Hormigón Armado estudiando la horizontalidad y la planeidad, la verticalidad en los Muros de Hormigón Armado y en las Tabiquerías se analizó la verticalidad y la planeidad. Los resultados obtenidos son diversos en cuanto al valor del nivel sigma, no obstante en todos los casos queda de manifiesto que en la calidad de los procesos constructivos queda mucho por mejorar. Mucho podrán pensar que un nivel de calidad seis sigma pueda ser un estar muy exigente, no obstante si se considera por ejemplo un nivel de calidad de un exigente 90%, ello implicaría por ejemplo que el 10% de las losas quedó con defectos, aun considerando que los defectos sean no estructurales, va a ser necesario corregir las fallas incrementando el costo de la obra en terminaciones (mayores cargas de estuco en cielos y mayores cargas de morteros de nivelación en pisos.) incrementando adicionalmente los plazos de ejecución.

7.

8. El nivel de exigencia de seis sigma como métrica, constituye para las empresas la meta de largo plazo, la cual se debe ir ajustando en el tiempo en la medida que la empresa va mejorando sus niveles de calidad. Sin embargo, más que seis sigma como la métrica es más relevante seis sigma como filosofía que busca la mejora continúa de sus procesos y como procedimiento de medición estandarizado, ya que lo que no se mide no es posible mejorar.

Dimensión	Variable medida
Horizontalidad	Flecha
Planeidad	Depresiones o protuberancias en el plano
Verticalidad	Desaplome

Tabla 1 Variables de Dimensiones de Calidad

La planeidad ha sido considerada como la Calidad del plano horizontal o vertical, liso, sin imperfecciones u ondulaciones en su superficie. En el caso de las Losas, su horizontalidad fue representada por la flecha que ella presenta al momento de retirar moldajes y alzaprimas. En los muros la perdida de verticalidad fue incorporada por el desaplome. En todos los casos el valor esperado de la variable fue tomado cero, con los límites superior e inferior acorde a lo estipulado en el Manual de Tolerancias.

Dimensión	Rango del Nivel Sigma
Horizontalidad	0,98 a 2,78
Planeidad	1,01 a 1,18

Tabla 3 Nivel de Calidad en Muros

Dimensión	Rango del Nivel Sigma
Verticalidad	0,81 a 1,98
Planeidad	1,66 a 2,38

Tabla 4 Nivel de Calidad en Tabiquería

Dimensión	Rango del Nivel Sigma
Verticalidad	1,36 a 2,98
Planeidad	1,56 a 1,96

Tabla 2 Nivel de Calidad en Losas

Asumiendo un nivel promedio de calidad sigma de 1,5, estaríamos frente a un 13,36% de probabilidad de falla en alguno de los elementos, por ejemplo en un edificio de 10 pisos fácilmente es posible distinguir unas 300 losas de las cuales 40 presentarían defectos, lo que francamente es intolerable hoy en día, más aun cuando una parte significativa de ellas sería evitable. El análisis de las causales de las fallas o no conformidades, muestra que si bien la calidad de la mano de obra es importante, más importante aún lo son aspectos internos de la empresa y la obra en particular (procesos y supervisión).

Causal	Frecuencia %
Falta de Supervisión	32
Procesos no Definidos o no estandarizados	38
Calidad de la Mano de Obra	23
Otros	7

Tabla 5 Causas de No Conformidad

Si bien los resultados del seguimiento de cada uno de los procesos en particular de una empresa constructora, pueden ser significativamente diferentes, en especial cuando se incluye la variable tecnología como causal de no conformidad. No obstante, la mano de obra nunca supero el 28%, la supervisión de los procesos no bajo del 20% y los procesos no definidos presentó un 25% como mínimo.

5. Modelo de Gestión de Calidad en Obras Gruesa

El análisis de los resultados, en especial los correspondientes a causas de no conformidades, muestran el camino hacia la Gestión de Calidad en los procesos de Obras Gruesa. No obstante, ellos no son nada nuevo, ya había sido planteado en la década de los 60 por Juan Agulló y ratificado más tarde por Andrés Alemany al plantear los factores claves de la productividad en la industrialización de la construcción:

- Estandarización de procesos*
- Supervisión eficaz de los procesos*
- Procesos controlados por normas y especificaciones precisas*
- Planificación de los recursos*

No es una coincidencia que al menos tres de los factores claves de la productividad se encuentren entre las principales causas de no calidad en la industria de la construcción sumando cerca del 70% en la frecuencia de errores. Luego las estrategias a implementar para avanzar en la gestión de calidad de los procesos constructivos, deben necesariamente superar las deficiencias en procesos no estandarizados y en la supervisión.

El modelo de Gestión debe incluir como primer paso la estandarización de los procesos, lo que incluye el desarrollo de los respectivos diagramas de procesos, incorporando en ellos las instancias de control y las tolerancias máximas permitidas por las normativas y especificaciones. Este es un aspecto que algunas empresas ya lo han incluido, no obstante los diagramas quedan archivados en oficina central y no van a las obras. En este punto se debe ser muy preciso, los diagramas son desarrollados para ser usados y deben formar parte de la capacitación de los trabajadores.

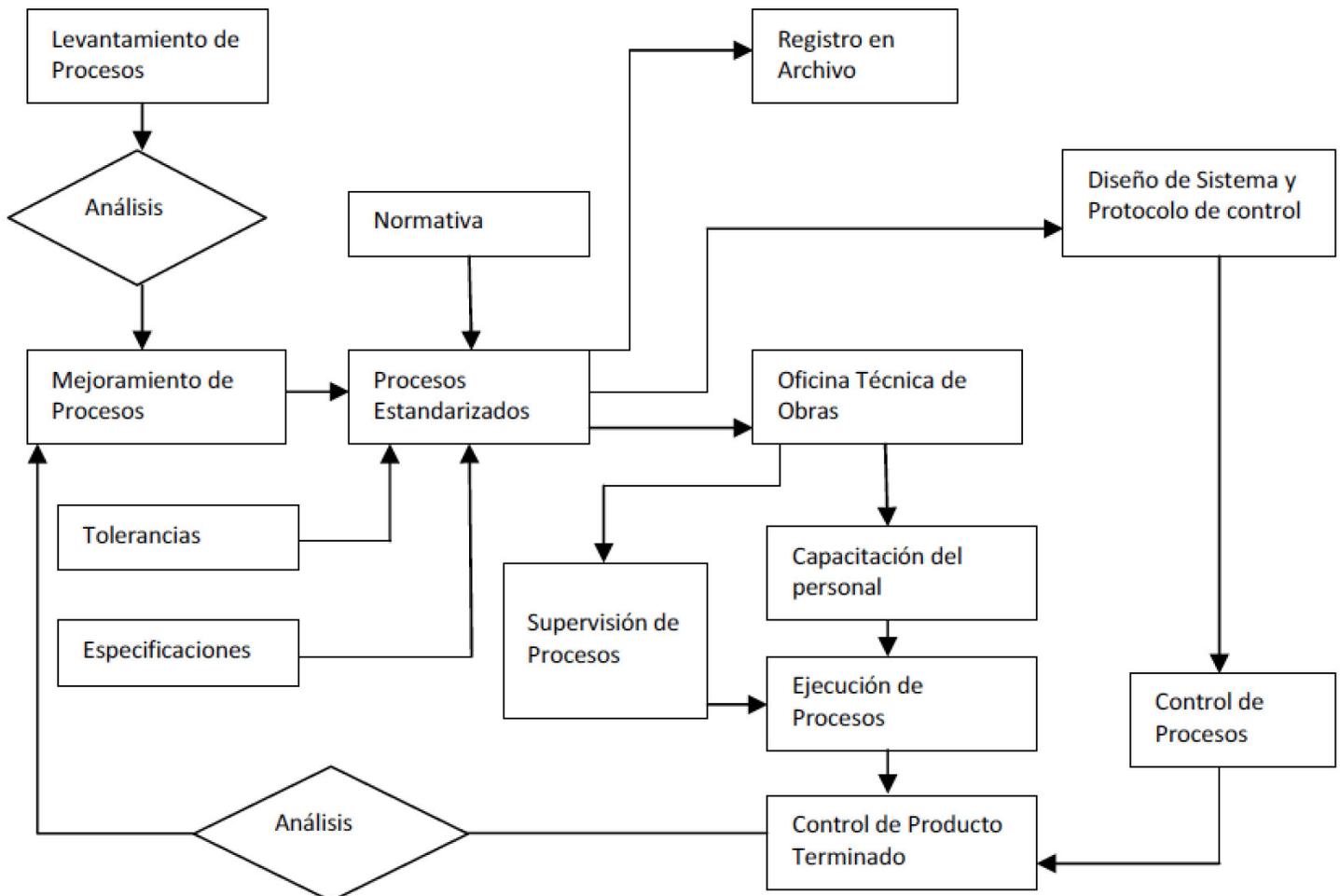


Figura 6 Diagrama de Modelo de Gestión, elaboración propia

El diagrama de la figura 6 muestra que el primer paso hacia el mejoramiento es el levantamiento del proceso, en donde se registra como está siendo ejecutado el proceso, que instancia de autocontrol o verificación existen, quienes intervienen, bajo qué condiciones se ejecuta, que equipos y materiales se están empleando. Luego se procede al análisis de la información, detectando potenciales causas de fallas y acciones no deseadas, dando lugar a un proceso mejorado, sobre el proceso mejorado se incorporan las especificaciones técnicas, normativas y tolerancias, generando con ello un proceso estandarizado.

Una vez estandarizado el proceso, se procede a registrar el archivo histórico del proceso (para ISO 9000), se envía la información a las oficinas técnicas de las diferentes obras y se da origen al diseño del sistema y protocolo de control. Una vez que ha sido recibida en obra la información del proceso estandarizado se capacita al personal de obra (incluyendo a los supervisores) y se comienza a ejecutar el proceso. Durante la ejecución se lleva a cabo el control de proceso, el cual puede ser efectuado por los encargados de calidad de la obra. Una vez aplicado el proceso a los elementos se procede a controlar la calidad del producto terminado, los resultados son analizados (haciendo uso por ejemplo de las cartas de control) y se retroalimenta el mejoramiento del proceso para el mejoramiento de la calidad del producto y disminución de su variabilidad.

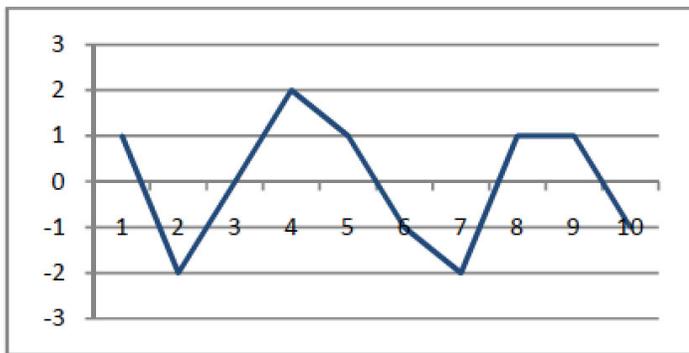


Figura 7 Carta de Control

En el caso de las cartas de control, es importante observar que los valores de la dimensión de calidad que se esté midiendo se encuentren dentro de los límites de las tolerancias permitidas. En segunda instancia es de interés que no exista segregación sistemática de las observaciones, vale decir que ellas no se encuentren agrupadas a un solo lado de del valor esperado. En el caso de la flecha en losas por ejemplo, la presencia sistemática de flecha negativa, estaría señalando que en el proceso constructivo se está dando con las alzaprimas contra flecha insuficiente.

El modelo de gestión sugerido, está inspirado en el principio básico "Sólo lo que se mide y controla es susceptible de mejorar", de tal forma que se incluyen dentro del sistema tres instancias asociadas al control. Por una parte el diseño del sistema y protocolos de control (que será controlado, cómo y con qué será controlado,

y finalmente quien llevará a cabo el control). En el tema de quien llevará el control se debe separar el control del proceso del control del producto terminado. El primero de ellos puede estar en una lógica de autocontrol de la obra, pero el producto terminado debe ser efectuado por oficina central por ejemplo por la unidad de post venta. Quienes en definitiva van hacer cargo de las disconformidades que encuentre el cliente.

En este sistema de control, los supervisores juegan un importante rol, en tanto que deben hacer el seguimiento del proceso, verificación de cumplimiento del estandarizado y registro de las causales de no conformidades y sus frecuencias, información que es de valiosa ayuda para el cumplimiento de su propio cometido, así como para el análisis y mejoramiento del proceso.

El control de producto terminado debe a lo menos incluir la medición de las dimensiones de calidad establecidas en las tolerancias del proceso, con las cuales aplicar cartas de control que permitan verificar su evolución dentro de los límites permitidos y de ser posible aplicar seis sigma para medir su variabilidad. Los resultados deben ser registrados y analizados para el mejoramiento del proceso junto a las causales de no conformidad.

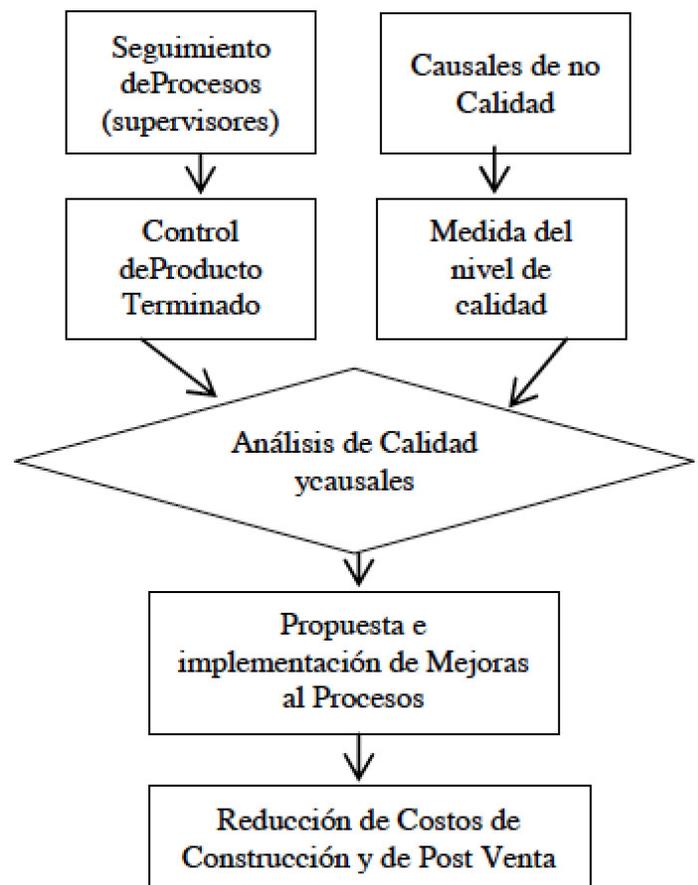


Figura 8 Diagrama de mejora de Calidad, elaboración propia

En el caso de los procesos constructivos de obra gruesa, las mejoras en el nivel de calidad de los procesos y del producto terminado, presentan variados impactos, entre los cuales se encuentran: mejoras en la capacidad estructural de largo plazo (por ejemplo al mejorar la impermeabilidad del elemento queda más protegido el fierro), reducción de costos de reparación (disminución de costos de sellado de nidos, re hacer elementos, etc.), reducción de costos en la fase de terminaciones (menos carga de mortero de nivelación o menor carga de estucos) y la reducción de costos de post venta.

La implementación del sistema tiene asociado mayores costos, que están dados fundamentalmente por la capacitación del personal directo de obra y de los supervisores. No obstante, para el éxito del modelo de gestión de calidad, resulta crucial el involucramiento de la alta gerencia de la empresa y la convicción de ésta que la calidad rentabiliza.

Referencias

Balmaceda, Felipe y Chahuan Juan: Mejoramiento de Procesos Constructivos en Obras de Edificación en Extensión a través de Seis Sigma, Tesis para optar al Título de Ingeniero en Construcción. Santiago, Universidad Central de Chile, 2008

García-Rodríguez, S., & Solís-Flores, J. P. "3CV+2: modelo de calidad para la construcción de la vivienda", REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN. Chile. pp: 102-111. August . 2008. [2008-52533]
Hultazo Ibarra, Javier: Control y Gestión de Calidad en Procesos de Losas de Hormigón Armado en Edificación en Altura sobre la base de Seis Sigma, Tesis para optar al Título de Ingeniero en Construcción. Santiago, Universidad Central de Chile, 2008

Luna-Villarreal, K., & González-Tamez, C. A.. "Implementación de Sistema de Calidad en la Industria de la Construcción: Hacia un Modelo Cualitativo de Evaluación" Architecture, City and Environment. España. pp: 412-435. February . 2007. [2007-62977]

Mellado-Espinoza, M. "Seis Sigma en el Rediseño de procesos Constructivos", Revista Ingeniería al Día, 2008.

Mellado-Espinoza, M. "Gestión de Calidad en la Industria del Hormigón", Revista EMB Construcción, 2009

Mellado-Espinoza, M. "Calidad en los Procesos Constructivos, una aplicación de Seis Sigma", Revistas Ingeniería al Día, 2009.

Mellado-Espinoza, M. "Calidad en los Procesos Constructivos de Elementos de Hormigón Armado", XVII Jornadas Chilenas del Hormigón, 2009

Pedemonte, Cristobal y Perez, Alejandra. Adaptación de Seis Sigma a la Gestión de Obras de Edificación en Extensión: Indicadores para Obra Gruesa. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Santiago, Universidad de Santiago de Chile, 2007

Pinilla, Macarena y Razeto, Dominy. Control Estadístico de Procesos Como Herramienta en Gestión de Calidad. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Santiago, Universidad de Santiago de Chile, 2006

Veloso Silva, Claudia: Gestión de Calidad en Procesos Constructivos de Terminaciones en Edificaciones en Altura, Mediante 6 Sigma, Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Santiago, Universidad Central de Chile, 2008