

Metodología para el seguimiento de los costes de calidad en el diseño de proyectos de construcción: Caso de estudio



Methodology for monitoring quality costs in the design of construction projects: Case study

Luis Alonso Dzul-López * **

Santos Gracia-Villar * **

Margarita González-Benitez *

Federico Fernández-Diez *

Lázaro Cremades-Oliver *

* Departamento de Proyectos, Universidad Politécnica de Cataluña.

Tel: +34 934 017167. luis.alonso.dzul@upc.edu

** Fundación Universitaria Iberoamericana. Tel: +34 934 939900

Recibido: 08/04/09 • Aceptado: 15/07/09

ABSTRACT

• Nowadays a systematic approach in design process for construction projects is necessary, just as the development of tools to monitor efficiently the quality costs and to manage continuous improvement in this area. A methodology for measuring and monitoring quality costs in the design of construction projects (QCDPC) was proposed by the authors of this paper in previous literatures. QCDPC is based on the Process Cost Model (PCM), developed in the BS 6143 Part 1 and on the Project Design Methodology at the Polytechnic University of Cataluña. This paper describes five cases study using CCDPC method, through which quantifying the cost of a poor quality in the processes design was possible. At the same time, the cases study showed how viable and versatile the methodology was. The CCDPC proposal is in line with the concepts of Total Management Quality (TQM), the process approach and the continuous improvement ISO 9000 for management quality.

• **Key words:** Quality Costs, Design, Continual Improvement, Construction Projects.

RESUMEN

Actualmente es necesario un enfoque sistemático en el proceso de diseño para proyectos de construcción, así como el desarrollo de herramientas que permitan controlar los costes de calidad de manera eficiente y gestionar la mejora continua en dicha fase. Los autores de este trabajo han propuesto en literaturas previas, una metodología para la medición y seguimiento de los costes de calidad en el diseño de proyectos de construcción (CCDPC), basada en el modelo de costes por procesos (PCM) desarrollado, en la norma BS 6143 parte 1, y en la metodología de diseño de proyectos de la Universidad Politécnica de Cataluña (MDP-UPC). Este trabajo describe cinco casos de estudio empleando la propuesta metodológica CCDPC, con los que se obtuvieron datos que permitieron definir de manera cuantitativa el coste de una mala calidad en los procesos de diseño. De igual manera, los casos de estudio permitieron mostrar la metodología como viable y versátil. La propuesta CCDPC está en línea con los conceptos de Gestión Total de la Calidad (TQM), así como con el enfoque de procesos y

mejora continua de la norma ISO 9000 para la gestión de la calidad.

Palabras clave: Costes de calidad, Diseño, Mejora continua, Proyectos de construcción.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad es, sin duda, un factor clave para lograr el éxito organizacional. Desde las últimas dos décadas, esta ha recibido mucha atención en la industria de la construcción. Existen diversos enfoques para la gestión de la calidad, sin embargo, la norma ISO 9000 se considera que ha sido y seguirá siendo el sistema de gestión de la calidad más aceptado en la industria de la construcción alrededor del mundo (Tang et al., 2004). Esta norma está en línea con los conceptos de *mejora continua* bajo un *enfoque de procesos*, con el objetivo último de aproximarse al concepto TQM. De esta manera, es necesaria la medición y evaluación de dichos sistemas de calidad; el seguimiento y control de los *costes de calidad* se considera como la principal herramienta para la medición de dichos sistemas. Un conocimiento adecuado y detallado de los costes de la calidad

proporciona una herramienta de vital importancia en un proceso de mejora continua (Dzul y Gracia, 2008b).

A través de la medición de los costes de calidad, la gerencia de una empresa se puede alertar del impacto potencial de la mala calidad sobre la situación financiera. Los costes de calidad en la industria de la construcción son relativamente altos, en relación a los costes totales del proyecto (Love e Irani, 2003), y debido a la complejidad de los procesos en esta industria, la medición y seguimiento de los mismos resulta ser una tarea difícil (Aoieong et al., 2002). El coste de calidad se define como el coste incurrido para ayudar al empleado a que haga bien el trabajo todas las veces y los costes para determinar si la producción es aceptable, más cualquier costo en que incurre la empresa y el cliente porque la producción no cumplió las especificaciones o las expectativas del cliente. En el caso de la industria de la construcción, se afirma que dichos costes están en un rango del 8 al 15% de los costes de la construcción total (Low y Yeo, 1998; Aoieong et al., 2002).

Generalmente, no existe un plan definido de aseguramiento de la calidad en el diseño de proyectos de construcción, así como no existe una selección correcta de los consultores de diseño, reflejándose en la ocurrencia de cambios frecuentes durante ese proceso (Chuang y Tsai, 2005; Ezeldin y Abu-Ghazala, 2007; Wang et al., 2007). De igual manera, no se cuenta con una metodología que permita conducir de manera sistemática los procesos de diseño del proyecto, sobre todo en la fase del diseño básico.

Se han propuesto diversas aplicaciones de modelos genéricos de costes de calidad para su seguimiento y control en proyectos de construcción, derivándose en diversos sistemas cuyo enfoque se centra en la ejecución del proyecto. Hall y Tomkins (2001) resaltaron la poca consideración que se tenía de los costes de calidad en el diseño de proyectos de construcción, por parte de los estudios previos propuestos; Tang et al. (2005) propuso por primera vez, la medición de los costes de calidad en los procesos de diseño en proyectos de construcción.

Este trabajo tiene como objetivo dar un acercamiento de la aplicación de una metodología, que permita el seguimiento y control de los Costes de Calidad en el Diseño de Proyectos de Construcción (CCDPC). La metodología de trabajo se basó en una planificación y estudio del estado del arte en el campo, identificando los problemas presentes en las soluciones propuestas por otros autores. Partiendo de la propuesta metodológica CCDPC, se propusieron cinco casos de estudio, para lo cual se planificó una serie de procedimientos para la obtención de los datos, aplicando criterios de validez y fiabilidad. Los resultados obtenidos permitieron dar una primera aproximación de los resultados esperados con la aplicación de la propuesta metodológica en el diseño de proyectos.

2. ESTADO DE LA SITUACIÓN

2.1. LOS SISTEMAS DE COSTES DE CALIDAD EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

El modelo tradicional PEF (prevención, evaluación y fallos) de costes de calidad ha sido el modelo genérico más empleado en sistemas desarrollados para gestionar dichos costes en proyectos de construcción (Gracia y Dzul, 2007). Es sabida la importancia de un correcto diseño, ya que evita errores en las fases posteriores, sin embargo, los sistemas de medición de los costes de calidad en proyectos de construcción no toman en cuenta los costes de gestión de calidad y de fallos en esa fase de manera puntual. Ya que se hace referencia a los procesos de diseño, solamente como causas o generadores de fallos. Las diferencias y similitudes entre los distintos sistemas de gestión de costes de la calidad en proyectos de construcción, se pueden observar en la tabla 1, en relación a diversas características.

2.2. METODOLOGÍA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS COSTES DE CALIDAD.

Dzul y Gracia (2008a), propusieron una metodología para dar seguimiento a los costes de la calidad en el diseño de proyectos. Las bases teóricas propuestas para conformar la metodología CCDPC fueron el modelo de costes de calidad por procesos PCM como la mejor alternativa para la industria de la construcción (Aoieong et al., 2002). El modelo PCM ha sido desarrollado por la *British Standards Institution* (BSI, 1992) en su norma BS 6143 Parte 1; este modelo puede ser generado para cualquier proceso dentro de una organización y usado para identificar y controlar los costes de un proceso, en un aspecto particular. Cada elemento de coste individual debe estar identificado como un coste de conformidad (COC) o un coste de no conformidad (CONC), así como la fuente de los datos registrados. Los costes de calidad serían la suma de los COC y los CONC. El objetivo básico de este modelo es una política de mejora continua de la calidad en los procesos clave de la organización, localizando las áreas de la organización para las innovaciones.

El otro elemento propuesto para desarrollar la metodología CCDPC fue la MDP-UPC, enfoque sistemático de diseño básico de proyectos, sobre la cual se aplicaría el modelo PCM. El *Departamento de Proyectos de Ingeniería* de la *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial* (ETSEIB) de la *Universidad Politécnica de Cataluña* (UPC) ha desarrollado y aplicado la metodología MDP-UPC (Estay et al., 2009). La metodología de diseño, se basa en desarrollar 9 fases estructuradas como una serie de apartados específicos, que deben ser completados por los proyectistas que diseñan el proyecto. Las ocho primeras fases corresponden a la resolución de determinados aspectos que permiten precisar el conflicto y determinar el problema que se quiere resolver; la fase restante es una presentación visual de la solución concreta que se propone.

La figura 1 presenta un diagrama de flujo de la propuesta metodológica CCDPC, que consiste principalmente en la

Características	Sistemas de gestión de costes de la calidad en proyectos de construcción					
	QPMS	QPTS	QCM	CQCOS	QCPCM	PROMQACS
Modelo genérico de costes de la calidad en que basa	Modelo PEF	Modelo PEF	Modelo PEF	Modelo PEF	Modelo PCM	Modelo de tres niveles de costes de fallos (propuesto)
Costes de la calidad medidos	Prevención, evaluación y fallos	Fallos	Fallos	Fallos	COC y CNOC	Fallos
Alcance de medición de los costes de la calidad	Proyecto completo	Proyecto completo	Proyecto completo	Proyecto completo	Procesos seleccionados	Proyecto completo
Tipos de proyectos en que fue aplicado	Proyectos industriales	Proyectos industriales	Proyectos de ingeniería civil	No existe evidencia de haber sido probado	Proyectos de ingeniería civil y edificación	Proyectos de ingeniería civil
Etapas del proyecto en la que se recolectan los datos	A partir de la ejecución del proyecto	A partir de la ejecución del proyecto	A partir de la ejecución del proyecto	A partir de la ejecución del proyecto	A partir de la ejecución del proyecto y en procesos de gestión	A partir de la ejecución del proyecto
Énfasis	Reducción de fallos	Reducción de fallos	Reducción de fallos	Reducción de fallos	Mejora continua de procesos	Reducción de fallos
QPMS: Quality Performance Management System QPTS: Quality Performance Tracking System QCM: Quality Cost Matrix			CQCOS: Construction Quality Cost Quantifying System QCPCM: Quality Costs- Process Costs Model PROMQACS: Project Management Quality Cost System			

Tabla 1. Diferencias y similitudes entre los distintos sistemas de gestión de costes de la calidad en proyectos de construcción (Dzul y Gracia, 2009)

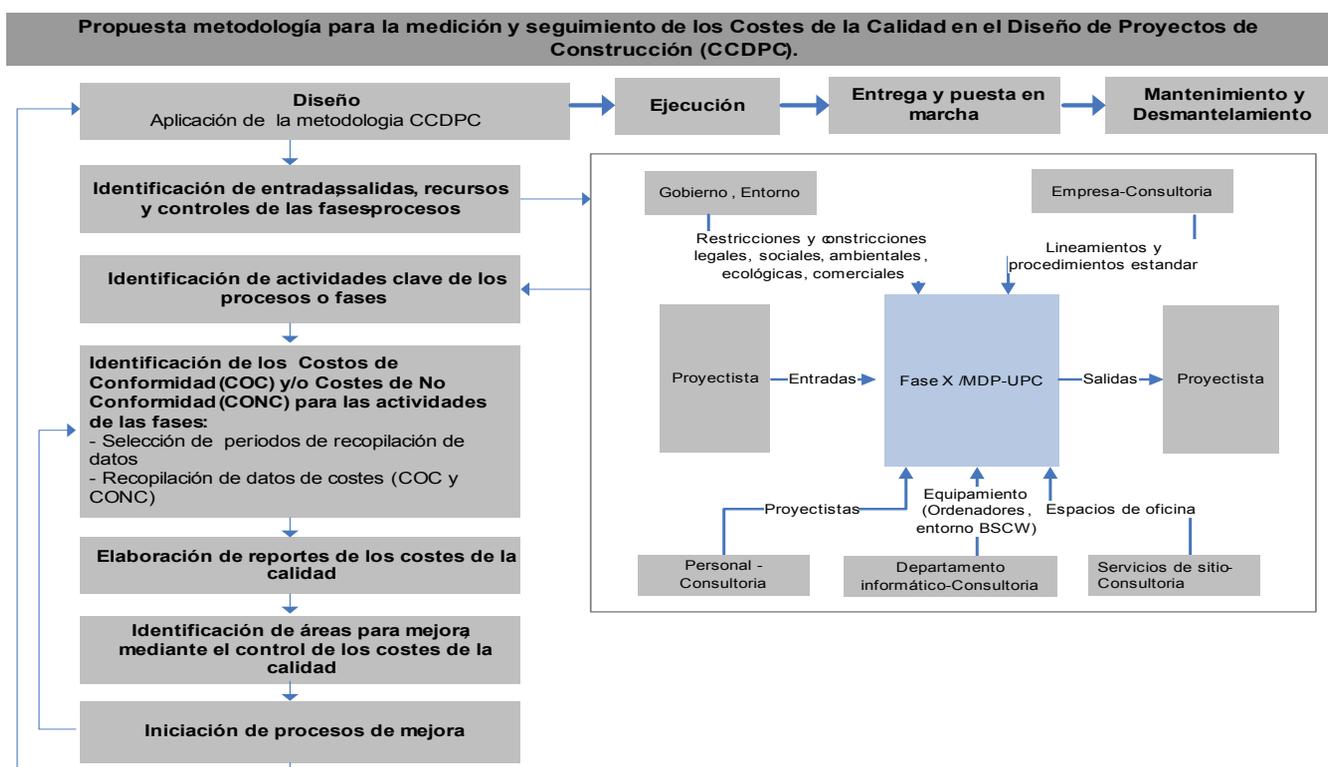


Figura 1. Diagrama de flujo de la propuesta metodología para la medición y seguimiento de los costes de calidad en el diseño de proyectos de construcción-CCDPC (Dzul et al., 2009).

implementación del modelo PCM en cada una de las 9 fases de la metodología MDP-UPC; en esa figura se muestra las etapas a seguir en la implantación del modelo de manera general, desde la etapa de diseño en el contexto general del proyecto.

Para desarrollar la metodología CCDPC, era necesario identificar los procesos sobre los cuales se aplicaría el modelo PCM. En este caso, una vez identificado cada una de las 9 fases de la metodología de diseño, se definieron sus límites correctamente. De esta manera, se empleo el diagrama de flujo de cada una de las fases de la MDP-UPC para definir las entradas, salidas, controles y recursos apropiados de acuerdo al modelo PCM. Esto facilitará la identificación de todas las actividades claves y responsables de la fase o proceso dentro de los límites del mismo. Las salidas de cada fase deberían ser identificadas y cada salida debería ser reconocida como va a uno o más procesos. Las entradas también fueron identificadas, tales como los materiales, datos, etc.; de igual manera, que los controles y recursos. La figura 2 esquematiza este proceso, desarrollado para las 9 fases de la MDP-UPC.

A partir de la aplicación del modelo PCM a la metodología MDP-UPC, se definieron los mecanismos para determinar los costes de calidad para cada fase. Todos los elementos de coste asociados a las actividades claves de cada una de las 9 fases pueden ser identificados y establecidos como un COC

o un CONC. Para estimar los COC, se propuso una tabla de recopilación, donde se plasmarían los tiempos en horas (hr.) de trabajo y las horas extras empleadas en la realización de las actividades (tabla 2). De esta manera, se definieron las actividades claves de cada fase y la cuantificación se basaría en un registro uniforme en relación al tipo y/o categoría de proyectista. Es decir, sería necesaria la cuantificación de los tiempos empleados para cada actividad sin considerar niveles o categorías de los proyectistas.

De igual manera, para el cálculo de los CONC, se estimaría el tiempo invertido en fallos del proceso por no haber obtenido el resultado esperado (tiempos desperdiciados, repetición de trabajos, etc.). Para esto se propuso una segunda tabla de recopilación (tabla 3) más profunda, basada en el origen de las no conformidades y su frecuencia tomando en cuenta las mismas actividades para cuantificar los COC. Así, se recopilaría para cada fase: el número de ocurrencias de todas las no conformidades y el tiempo (hr.) empleado para sus correcciones. Esta misma tabla se emplearía como base de las entrevistas efectuadas a los integrantes de los equipos de trabajo, ya que permitiría recopilar información sobre el origen de las no conformidades, su frecuencia y registrar información relacionada a observaciones sobre la interacción de los integrantes del equipo de trabajo, indagar a manera de entrevista sobre alguna causa de un CONC, entre otros.

Las causas de las no conformidades propuestas en la

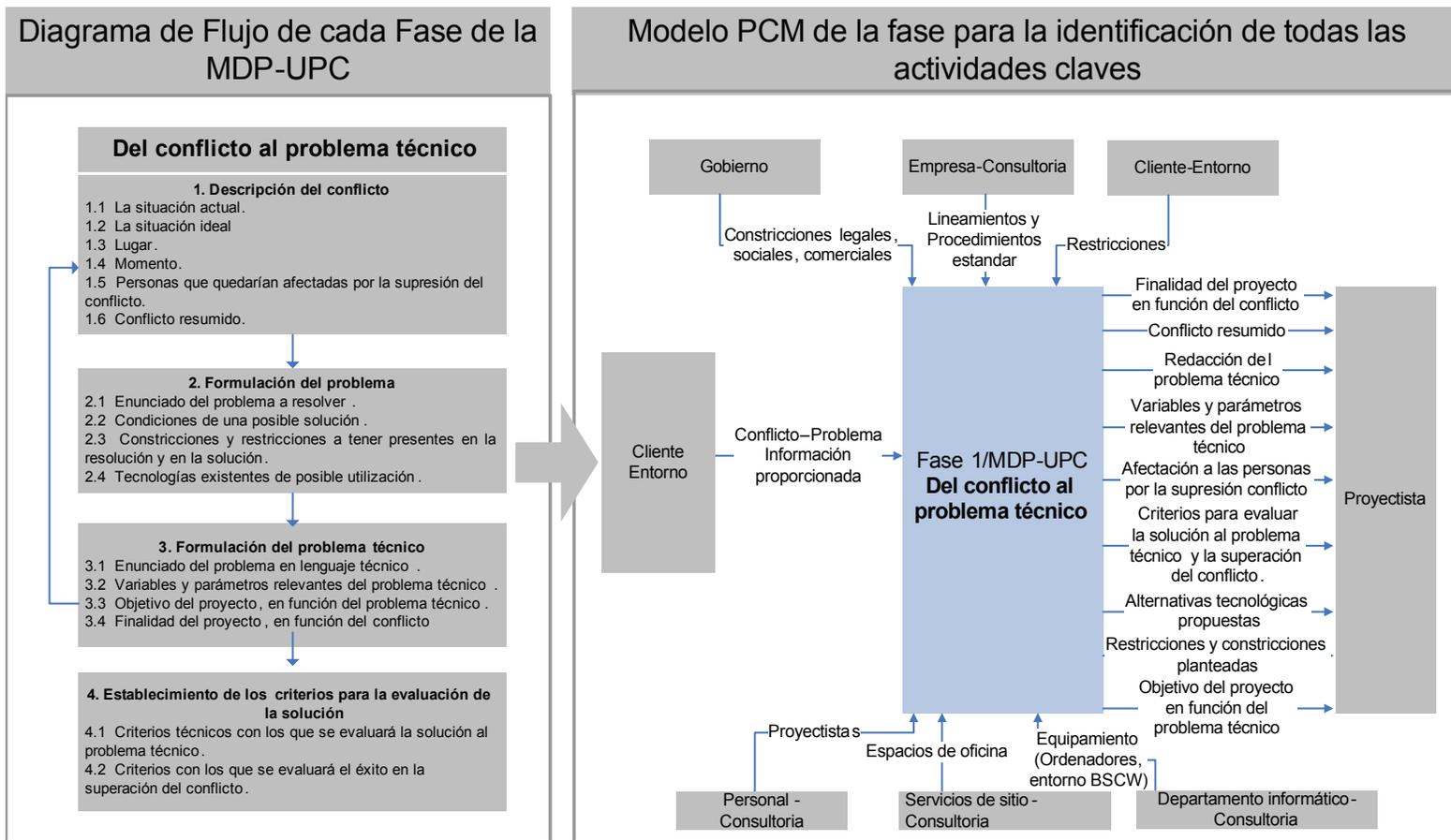


Figura 2. Esquema de aplicación del modelo PCM a una fase de la MDP-UPC.

Tabla 2. Formato para la recopilación de tiempos de los procesos de conformidad (COC) para actividades claves de la MDP-UPC por proyecto.

Recopilación de datos relacionados a los Costes de Conformidad (COC)			
Periodo de medición: xx/xx/20xx - xx/xx/20xx		Fase: X	
Fecha de esta recopilación: xx/xx/20xx		Salario (€/hr):	
		Equipo y material (€/hr):	
		Espacios €/hr):	
Clave	Actividades claves	Proyecto X	
		Tiempo (hr)	Coste (salario)
I. Tiempo-horas en clase-capacitación			
FX-C06	Capacitación Fase		
II. Tiempo-horas en clase-trabajo			
FX-C01	Recopilación e investigación de información objetiva		
FX-C02	Reunión proyectista-cliente-promotor (proyectista-tutor)		
FX-C03	Reunión equipo de proyectistas		
FX-C04	Evaluación de procesos para la elaboración de la fase		
	Total horas/semana/equipo		
FX-C05	Empleo de equipo informático y material de referencia.		
	Espacios de reunión		
	Total Recursos:		
III. Tiempo-horas extras			
FX-C01	Recopilación e investigación de información objetiva		
FX-C02	Reunión proyectista-cliente-promotor (proyectista-tutor)		
FX-C03	Reunión equipo de proyectistas		
FX-C04	Evaluación de procesos para la elaboración de la fase		
	Total horas/semana/ equipo		
FX-C05	Empleo de equipo informático, material de referencia		
	Espacios de reunión (este tiempo como máximo debe ser las horas /semana/hombre anteriores)		
	Total Recursos:		
IV. Tiempo-horas totales			
FX-C01	Recopilación e investigación de información objetiva		
FX-C02	Reunión proyectista-cliente-promotor (proyectista-tutor)		
FX-C03	Reunión equipo de proyectistas		
FX-C04	Evaluación de procesos para la elaboración de la fase		
	Total horas/semana/ equipo		
FX-C05	Empleo de equipo informático, material de referencia		
	Espacios de reunión (este tiempo como máximo debe ser las horas /semana/hombre anteriores)		
	Total Recursos:		
€/hr= Coste por hora			
Elaborado por: xxx		Firma:	

tabla 3 es resultado de la recopilación y análisis de trabajos anteriores en relación a las prácticas actuales en los procesos de diseño (Davis et al., 1989; Burati et al., 1992; Arditi y Gunaydin, 1998; Chuang y Tsai, 2005; Tang et al., 2005; Ezeldin y Abu-Ghazala, 2007; Wang et al., 2007); así como los trabajos publicados sobre la MDP-UPC en relación a este tema (Capó, 2006; Garcia et al., 2007; Gracia et al., 2009; Estay et al., 2009).

Un programa de actividades de mejora de la calidad debería ser planeada en base a la información contenida en los informes de costes de la calidad para cada fase y establecer prioridades (BSI, 1992); es necesario que el responsable del proceso esté involucrado en el equipo de mejora. Considerando el balance inicial de los COC y

CONC, se pueden tomar decisiones sobre si el diseño del proceso o la eliminación de rediseños es la primera prioridad. La comparación con periodos previos puede realizarse y así identificarse las áreas de mejora. Después de que la mejora se ha realizado, el balance puede cambiar y mover la atención a otro aspecto.

3. CASO DE ESTUDIO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA CCDPC.

El método de estudio de caso es una herramienta valiosa de investigación, y su mayor fortaleza radica en que a través del mismo se mide y registra la conducta de las personas involucradas en el fenómeno estudiado, mientras que los

métodos cuantitativos sólo se centran en información verbal obtenida a través de encuestas por cuestionarios. De esta manera, se propusieron cinco casos de estudio, que consistían en diseñar sendos proyectos, aplicando la propuesta metodológica CCDPC, con el objetivo de obtener datos que permitieran definir los costes relacionados a la calidad, en los procesos de elaboración de las fases de la MDP-UPC. A continuación se muestra una breve descripción de cada proyecto:

- Para el primer proyecto, se propuso un tema tecnológico relacionado a viabilidad, con el objetivo de mostrar la posible generalización de la propuesta metodológica CCDPC; este proyecto consistió en diseñar un sistema tecnológico de mejora del control del estacionamiento regulado, en el área urbana de la ciudad de Barcelona, España (Proyecto 1).
- El segundo proyecto, se trató del diseño de un sistema posicionador de vehículos en el interior de aparcamientos con capacidad de además transmitir las principales características que definen y diferencian a cada vehículo. Dirigido principalmente para la construcción de grandes aparcamientos como los de centros comerciales, aeropuertos o grandes estaciones (Proyecto 2).
- El tercer proyecto es referente a los estudios en la implantación de un sistema de transporte de Tranvía sobre la parte central de una de las avenidas más importantes de la ciudad de Barcelona, España (Avenida Diagonal); centrado en diseñar la reestructuración de los sistemas de movilidad, actuales y futuros, de los Distritos de la ciudad afectados, teniendo en cuenta los cambios realizados a la avenida en cuestión. (Proyecto 3).
- El cuarto proyecto, relacionado al anterior, consintió en diseñar el sistema que permita la construcción de un Tranvía sobre la parte central de la Avenida Diagonal de la ciudad de Barcelona, España; permitiendo que este sistema de transporte, originara una conversión de dicha avenida en un paseo peatonal y por tanto reduciendo substancialmente el tránsito en la misma (Proyecto 4).
- El quinto proyecto, se centró en diseñar un sistema de seguridad activo y pasivo vehicular para la implantación

en los automóviles convencionales (que componen el parque automovilístico estatal en España), con el fin de ayudar a reducir el número de accidentes y víctimas mortales en carreteras (Proyecto 5).

Para proporcionar calidad y objetividad a la investigación, se siguieron criterios de validez y fiabilidad de los resultados para un estudio de caso (Yin, 1994); derivándose en un diseño del mismo las siguientes consideraciones para la recopilación de datos: semblanza del estudio del caso, preguntas que deben ser respondidas por el estudio del caso, procedimientos a ser realizados y un formato para el informe del estudio del caso. A continuación se destacan los siguientes datos:

- Los procesos de diseño se realizaron en el periodo del 22 de septiembre al 10 de diciembre de 2008.
- Cada diseño fue realizado por cinco equipos diferentes, asesorados y tutorizados por un experto en proyectos; cada equipo estaba integrado por 4 personas en formación en proyectos (estudiantes de segundo ciclo de la titulación de Ingeniería Industrial de la ETSEIB de la UPC).
- Las mediciones siguieron un riguroso calendario, delimitado por la finalización de cada fase de la MDP-UPC. Esta medición era semanal e incluía el cumplimiento de una lista de control para recopilar los datos relacionados a los costes de la calidad durante las fases del diseño, así como una entrevista donde se exponían los resultados previos y las medidas de mejora a tomar para las futuras fases.
- La distribución del tiempo empleado en los procesos de resolución de cada fase, fue el siguiente:
- Se consideró una tasa monetaria por hora (€/hr) para cada tipo de actividad y así determinar los COC y el CONC aproximado para cada fase (Idescat, 2009); salario: 30 €/hr; equipo y material: 15 €/hr y espacios de reunión: 10 €/hr.

3.1. RESULTADOS

Se procedió a la recopilación de datos e información de acuerdo a los formatos de las tablas 2 y 3; la tabla 4 muestra la información obtenida de costes para el Proyecto 1, correspondiente a la fase 1 de la MDP-UPC. Lo anterior se obtuvo también para cada una de las 9 fases de diseño y

V. No conformidades en la resolución de la fase X			
Responsable del proceso:			Fecha: xx/yy/zz
Clave	No conformidad en la elaboración de la fase X de la MDP-UPC		N.O.
			Ta
FX-N01	Repetición de trabajos para recopilar información debido a:		
	Utilización de información incorrecta. Falta de información para el proyecto.	Cambios de información y datos. Errores y cambios de proveedores.	
	Observaciones:		
FX-N02	Repetición de reuniones proyectista-cliente-promotor debido a:		
	Utilización de información incorrecta proporcionada por el cliente-promotor. Cambios de información y datos. Cambios frecuentes en el proceso de diseño.		
	Observaciones:		

FX-NO3a	Repetición de trabajos durante la realización de la fase debido a:	
	Utilización de información incorrecta. Faltante de información para el proyecto. Errores de cálculo. Cambio de información y datos. Gestión incorrecta de la documentación.	Errores y cambios de proveedores. Incorrecta estimación de precios y control de costes. No entendimiento de la metodología de diseño.
Observaciones:		
FX-NO3b	Reuniones por errores cometidos, debido a :	
	Utilización de información incorrecta. Errores de cálculo. Cambio de información y datos. Gestión incorrecta de la documentación. Errores y cambios de proveedores. Comprensión insuficiente de regulaciones y de procedimientos relacionados. Obligaciones y responsabilidades indefinidas durante el proceso. Evaluación incompleta del progreso del diseño.	Cambios frecuentes en el diseño. Revisión incompleta de planos y descripciones de diseño. No haber previsto posibles problemas en el proceso (fase). Disposición incorrecta de materiales y de equipos. No entendimiento de la metodología de diseño (no obtención de las salidas del proceso de manera no satisfactoria).
Observaciones:		
FX-NO4	Repetición de trabajos de evaluación de los procesos debido a:	
	Utilización de información incorrecta. Falta de información para el proyecto. Cambio de información y datos. Errores de cálculo. Gestión incorrecta de la documentación. Errores y cambios de proveedores. Comprensión insuficiente de regulaciones y de procedimientos relacionados.	Evaluación incompleta del progreso del diseño. Cambios frecuentes en el proceso de diseño. Revisión incompleta de planos (o dibujos) y descripciones de diseño. No haber previsto posibles problemas en el proceso (fase). Disposición incorrecta de materiales y de equipos.
Observaciones:		
FX-NO5	Empleo de recursos y/o materiales extras para la realización de trabajos, debido a no conformidades	
	Equipo informático y material de referencia – consulta	
	Espacios de reunión	
	Observaciones:	
N.O. : Numero de Ocurrencias en el periodo		Ta: Tiempo aproximado empleado para cada ocurrencia (hr)
Elaborado por: xxx		Firma:

Tabla 3. Formato para la recopilación de tiempos de no conformidades (CONC) para actividades claves de la MDP-UPC por proyecto.

de igual manera, para los cuatro proyectos restantes. Fueron aplicadas actividades de mejora, tomando en cuenta la comparación de los resultados de cada fase e identificando las áreas y aspectos a corregir. Una vez calculado el coste total de cada fase (COC+CONC) para cada uno de los proyectos, se obtuvo un compendio de los costes de la calidad del diseño, por proyecto y por fase (tabla 5).

La figura 3 muestra el comportamiento de los costes de la calidad (COC+CONC) para los cinco proyectos en cada fase. De manera general, se pudo observar un comportamiento de relativa uniformidad en los cinco proyectos, durante las diferentes fases del diseño; mostrando una consistencia interna entre los datos obtenidos, derivándose en validez y fiabilidad del estudio de caso (Yin, 1994). Desde las primeras fases, se presentó una coherencia lógica de los datos, de acuerdo a la naturaleza propia de la MDP-UPC, con ciertas excepciones, hasta la finalización del diseño de los proyectos. Tomando en cuenta los costes promedio para

los 5 proyectos (tabla 5) y a través de la figura 4, se puede observar el coste de la calidad promedio correspondiente para cada fase, destacando la tendencia de decremento de

Tiempo empleado por semana para la realización de cada fase de la MDP-UPC	
Tiempo – Capacitación de Fase	Medición de COC y CONC
Tiempo Trabajo: lunes (2hr) y miércoles (2hr). Tiempo correspondiente a las clases formativas semanales e invertidas en las actividades del proceso.	
Tiempo – Trabajo: Horas extras (x hr/sem). Tiempo extra que necesitaron los grupos de trabajo para completar la formulación de la fase.	

Informe de los COC y CONC del proceso de diseño € fase 1						
Proceso: Fase 1 - Proyecto 1						
Clave	Actividades claves	COC(€)	CONC(€)	Total(€)	COC/T	CONC/T
F1-C01	Recopilación e investigación de información objetiva	75	0	75	4,75%	0,00%
F1-C02	Reunión proyectista-cliente-asesor	180	0	180	11,41%	0,00%
F1-C03	Reunión equipo de proyectistas (trabajo de la fase)	345	15	360	21,87%	0,95%
F1-C04	Evaluación de los procesos para la elaboración de la fase	570	0	570	36,13%	0,00%
	Total horas/semana:	1170	15	1185	74,17%	0,95%
F1-C05	Empleo de equipo informático y material de referencia.	52,5	0	52,5	3,33%	0,00%
	Espacios de reunión	40	0	40	2,54%	0,00%
	Total recursos:	92,5	0	92,5	5,86%	0,00%
F1-C06	Capacitación-Fase	300	0	300	19,02%	0,00%
	Total:	1562,5	15	1577,5	99,05%	0,95%

Tabla 4. Costes de la calidad (COC+CONC) de la fase 1 de la MDP-UPC para el proyecto 1

los mismos a lo largo del proceso; ya que se obtuvo una de la línea de tendencia, con una pendiente negativa.

Es de importancia resaltar algunas conclusiones en relación a los CONC de manera particular, ya que representan el coste de ineficiencia dentro del proceso concreto (fallos asociados al proceso por no haber obtenido el estándar establecido: coste de materiales, recursos y tiempo desperdiciados). Los proyectos presentaron una uniformidad en el porcentaje del CONC con respecto al coste total de la fase (CONC/Total), a excepción del proyecto 3 que inició con una cantidad considerable de retrabajos, recuperándose, pero de nuevo mostró cierta inestabilidad hasta una nueva y final estabilización durante las últimas fases de diseño (figura 5). La fase 1 representó la obtención de los primeros datos, por lo que la diferencia e inestabilidad de los costes, principalmente de los CONC, fue notable; con estos primeros resultados, se planteó los puntos “débiles” y actividades que requerían mayor atención. En la fase 2 se presentó una disminución esperada de los CONC, debido a las acciones de mejora ejecutadas, en base a la detección de las no conformidades de manera puntual y las causas que las originaron.

En la fase 3 continuó un decremento general de los CONC, atribuido a la toma de acciones progresivas y proactivas para mejorar continuamente dicho proceso. En la fase 4, debido a que sus trabajos implicaban obtener la propuesta de un sistema adecuado para dar una aproximación a las especificaciones técnicas del proyecto, se presentó un aumento de los CONC. A partir de ese punto y en base a las tendencias observadas, fue necesario buscar no solamente una disminución coherente de los CONC, sino también una variación aceptable de los mismos, y tomar las acciones necesarias para conservar una uniformidad de sus porcentajes en cara a las fases siguientes hasta obtener a un rango de porcentajes “mínimo” registrado en cada proyecto. De esta manera, a partir de la fase 5 se observó una disminución y estabilización de los CONC.

La figura 6 muestra las líneas de tendencia de los datos anteriores (CONC/Total): los proyectos 3, 4 y 5 mostraron una

pendiente negativa de sus respectivas líneas de tendencia; el proyecto 1 una ligera pendiente positiva, interpretada como una uniformidad en sus CONC; por último, el proyecto 2 obtuvo una pendiente sensiblemente horizontal. De manera general, la línea de tendencia promedio resultó con una pendiente negativa, denotando la disminución progresiva alcanzada para los CONC durante el periodo de diseño en los cinco proyectos. De esta manera, lo conveniente sería esta disminución de los CONC, buscando una uniformidad de tendencia de los mismos. Las figuras 7 permite observar la relación de los COC y CONC finales para cada uno de los proyectos, de manera absoluta y porcentual. El proyecto 5 resultó con el mayor coste (COC+CONC= 18891,8 €) y el proyecto 3 con el máximo CONC/Total (17,02%); por otra parte, el proyecto 4 resultó con el mínimo coste (COC+CONC= 11151,25 €) y el proyecto 3 con el mínimo CONC/Total (3,14%).

Un aspecto fundamental de la metodología CCDPC es la adopción de un formato para el informe total de los costes de la calidad del diseño; dicho informe debería contener una lista completa de los elementos de los COC y los CONC para las actividades, especificando si se usan costes reales o estimados y los medios de cálculo para cada elemento de coste. La tabla 6 muestra este informe de costes para el proyecto 1, con una lista completa de los elementos de los COC y de los CONC obtenidos. Es necesario incluir en el mismo el responsable del proceso de cada actividad clave (BSI, 1992; Aoieong et al., 2002).

3.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En los procesos de diseño el personal o las partes involucradas no son muy numerosas. De esta manera, la conformidad con los datos adquiridos para la estimación de los COC puede ser considerada completa y exacta, ya que el mayor elemento de coste relacionado a los procesos de las fases para los COC es el salario. Así, la información

COC y CONC del proceso de diseño por fases

COC y CONC del proceso de diseño por fases											
Proceso: Diseño básico del Proyecto1, 2, 3, 4 y 5											
Responsable del proceso: Jefe de proyectos							Periodo: 22/09/2008 - 10/12/ 2008				
Proyecto-1							Proyecto-2				
Clave	Fases	COC(€)	CONC(€)	Total (T)	COC/T	CONC/T	COC(€)	CONC(€)	Total(T)	COC/T	CONC/T
F1	Fase 1	1562,5	15	1577,5	99,05%	0,95%	1795	75	1870	95,99%	4,01%
F2	Fase 2	3357,5	142,5	3500	95,93%	4,07%	2067,5	67,5	2135	96,84%	3,16%
F3	Fase 3	962,5	15	977,5	98,47%	1,53%	1517,5	202,5	1720	88,23%	11,77%
F4	Fase 4	1982,5	58	2040,5	97,16%	2,84%	2005	299,8	2304,8	86,99%	13,01%
F5	Fase 5	920	45	965	95,34%	4,66%	1070	125	1195	89,54%	10,46%
F6	Fase 6	1415	11,25	1426,25	99,21%	0,79%	1477,5	90	1567,5	94,26%	5,74%
F7	Fase 7	1890	63	1953	96,77%	3,23%	1580	112,5	1692,5	93,35%	6,65%
F8	Fase 8	1620	120	1740	93,10%	6,90%	2267,5	135	2402,5	94,38%	5,62%
F9	Fase 9	1120	11,25	1131,25	99,01%	0,99%	567,5	45	612,5	92,65%	7,35%
To	Total:	14830	481	15311	96,86%	3,14%	14347,5	1152,3	15499,8	92,57%	7,43%
Proyecto-3							Proyecto-4				
Clave	Fases	COC(€)	CONC(€)	Total (T)	COC/T	CONC/T	COC(€)	CONC(€)	Total(T)	COC/T	CONC/T
F1	Fase 1	1457,5	939	2396,5	60,82%	39,18%	1810	210	2020	89,60%	10,40%
F2	Fase 2	2917,5	682,5	3600	81,04%	18,96%	2345	97,5	2442,5	96,01%	3,99%
F3	Fase 3	890	45	935	95,19%	4,81%	1510	22,5	1532,5	98,53%	1,47%
F4	Fase 4	3070	1129,8	4199,8	73,10%	26,90%	1240	40	1280	96,88%	3,13%
F5	Fase 5	965	45	1010	95,54%	4,46%	1060	60	1120	94,64%	5,36%
F6	Fase 6	1250	22,5	1272,5	98,23%	1,77%	450	11,25	461,25	97,56%	2,44%
F7	Fase 7	1042,5	37,5	1080	96,53%	3,47%	1000	40	1040	96,15%	3,85%
F8	Fase 8	2075	22,5	2097,5	98,93%	1,07%	855	45	900	95,00%	5,00%
F9	Fase 9	625	7,65	632,65	98,79%	1,21%	340	15	355	95,77%	4,23%
To	Total:	14292,5	2931,45	17223,95	82,98%	17,02%	10610	541,25	11151,25	95,15%	4,85%
Proyecto-5							Costes Promedio para los 5 proyectos				
Clave	Fases	COC(€)	CONC(€)	Total (T)	COC/T	CONC/T	COC(€)	CONC(€)	Total(T)	COC/T	CONC/T
F1	Fase 1	1687,5	1278,8	2966,3	56,89%	43,11%	1662,50	503,56	2166,06	80,47%	19,53%
F2	Fase 2	2240	868	3108	72,07%	27,93%	2585,50	371,60	2957,10	88,38%	11,62%
F3	Fase 3	1552,5	422,5	1975	78,61%	21,39%	1286,50	141,50	1428,00	91,80%	8,20%
F4	Fase 4	2315	168	2483	93,23%	6,77%	2122,50	339,12	2461,62	89,47%	10,53%
F5	Fase 5	1810	45	1855	97,57%	2,43%	1165,00	64,00	1229,00	94,53%	5,47%
F6	Fase 6	1560	101,25	1661,25	93,91%	6,09%	1230,50	47,25	1277,75	96,63%	3,37%
F7	Fase 7	1070	37,5	1107,5	96,61%	3,39%	1316,50	58,10	1374,60	95,88%	4,12%
F8	Fase 8	2712,5	15,75	2728,25	99,42%	0,58%	1906,00	67,65	1973,65	96,17%	3,83%
F9	Fase 9	985	22,5	1007,5	97,77%	2,23%	727,50	20,28	747,78	96,80%	3,20%
To	Total:	15932,5	2959,3	18891,8	84,34%	15,66%	14002,5	1613,06	15615,56	90,46%	9,54%

Tabla 5. Costes de la calidad recopilados por fase y proyecto.

requerida para esa estimación fue las horas/hombre para las actividades claves de dichos procesos y un salario (€/hr) basado en datos de de coste laboral de la industria (Idescat, 2009).

El proceso de diseño es una actividad de retroalimentación, que involucra actividades de prueba y error; ya que en la medida que se avanza con el desarrollo de las fases, se vuelve

a las fases anteriores para mejorar, corregir o complementar información. De esta manera, fue necesario que durante la recopilación de los datos de CNOC se diferenciara de manera precisa, que tipo de retrabajo no era un CNOC, sino una actividad de retroalimentación cíclica propia de la metodología; así como que tipo de retrabajo o fallos, si era un CNOC.

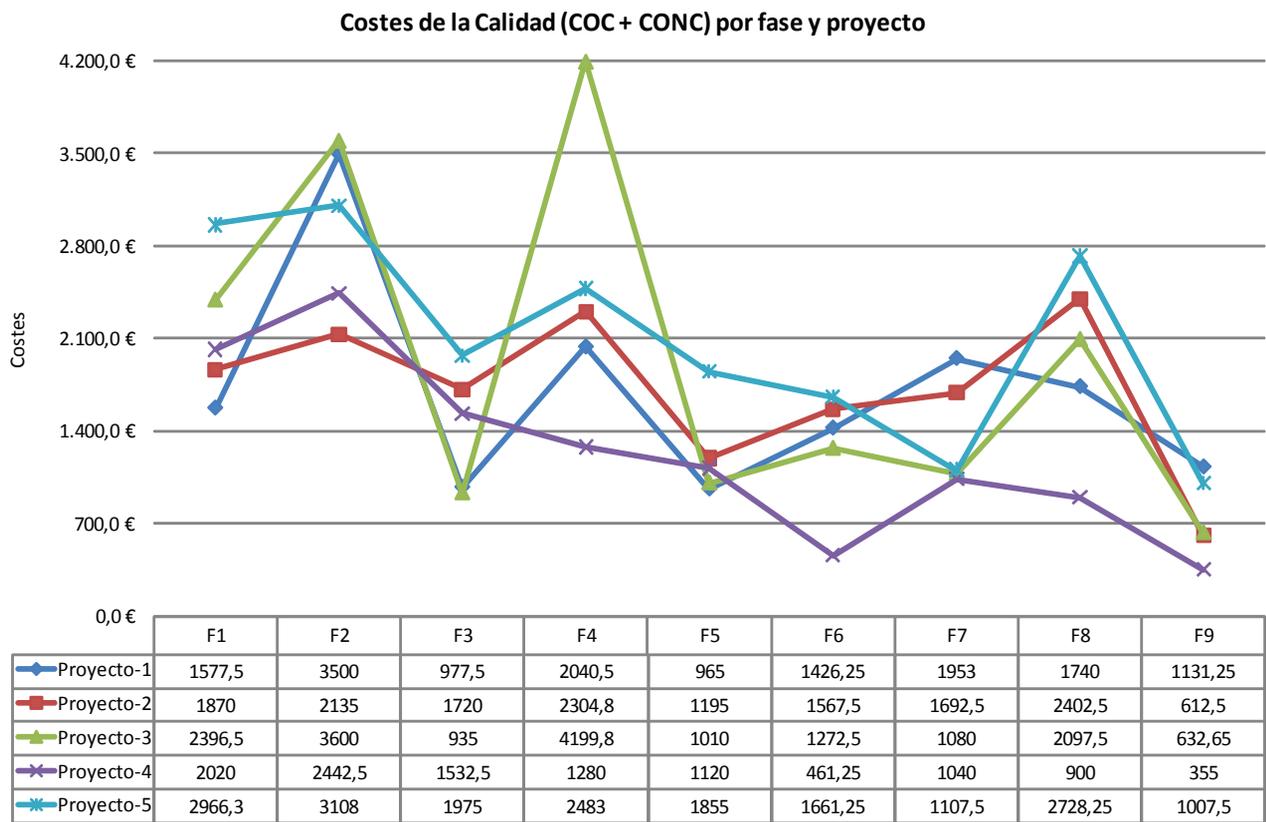


Figura 3. Costes de la Calidad de los cinco proyectos por fase.

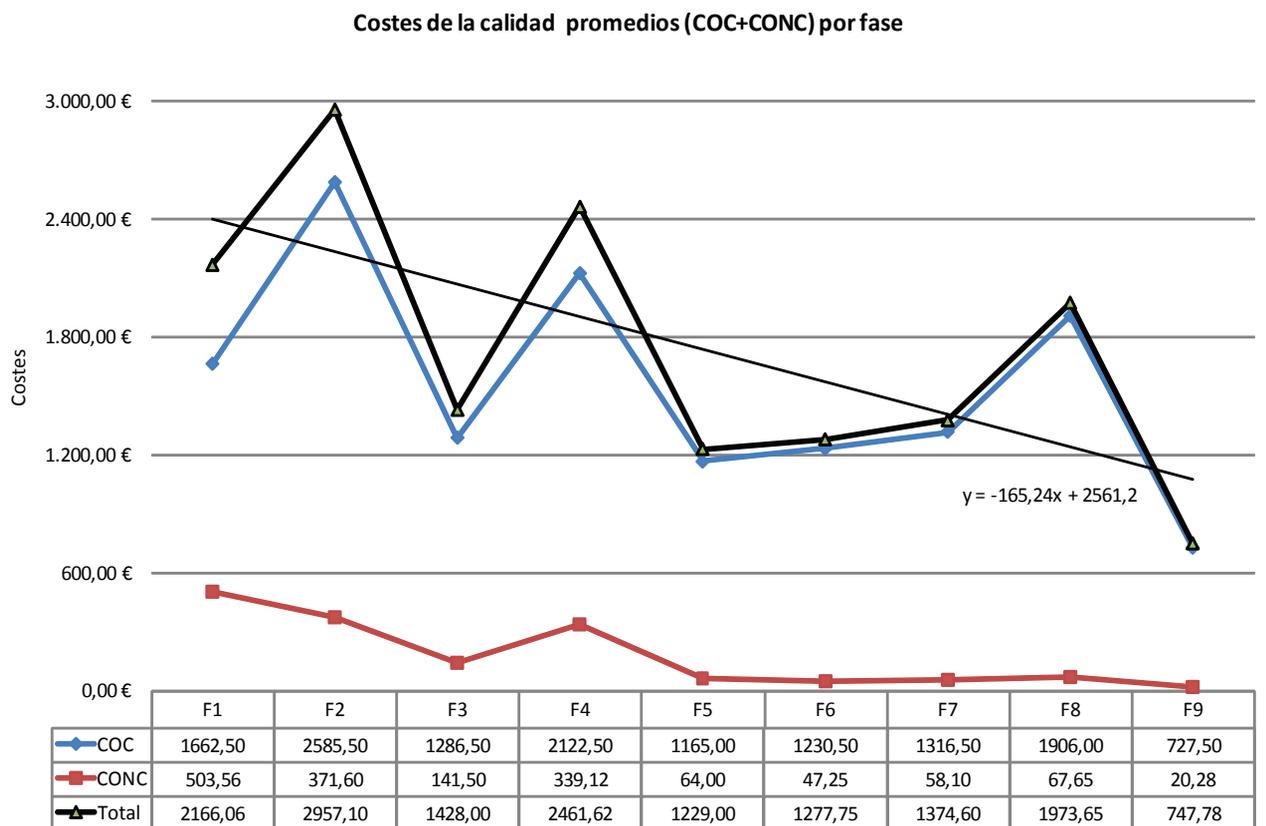


Figura 4. Tendencia de los Costes de la calidad (COC+CONC) promedio por fase.

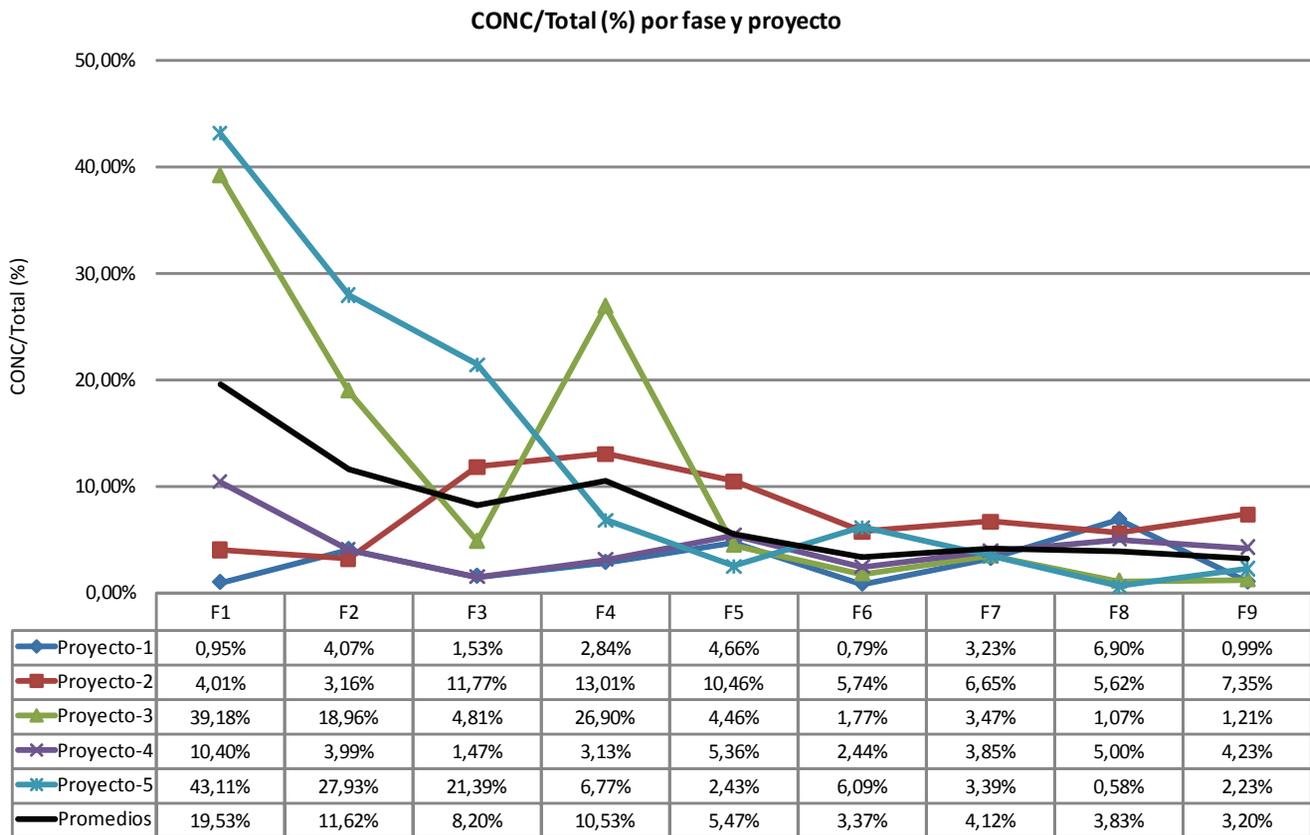


Figura 5. CONC/Total por fase de los cinco proyectos.

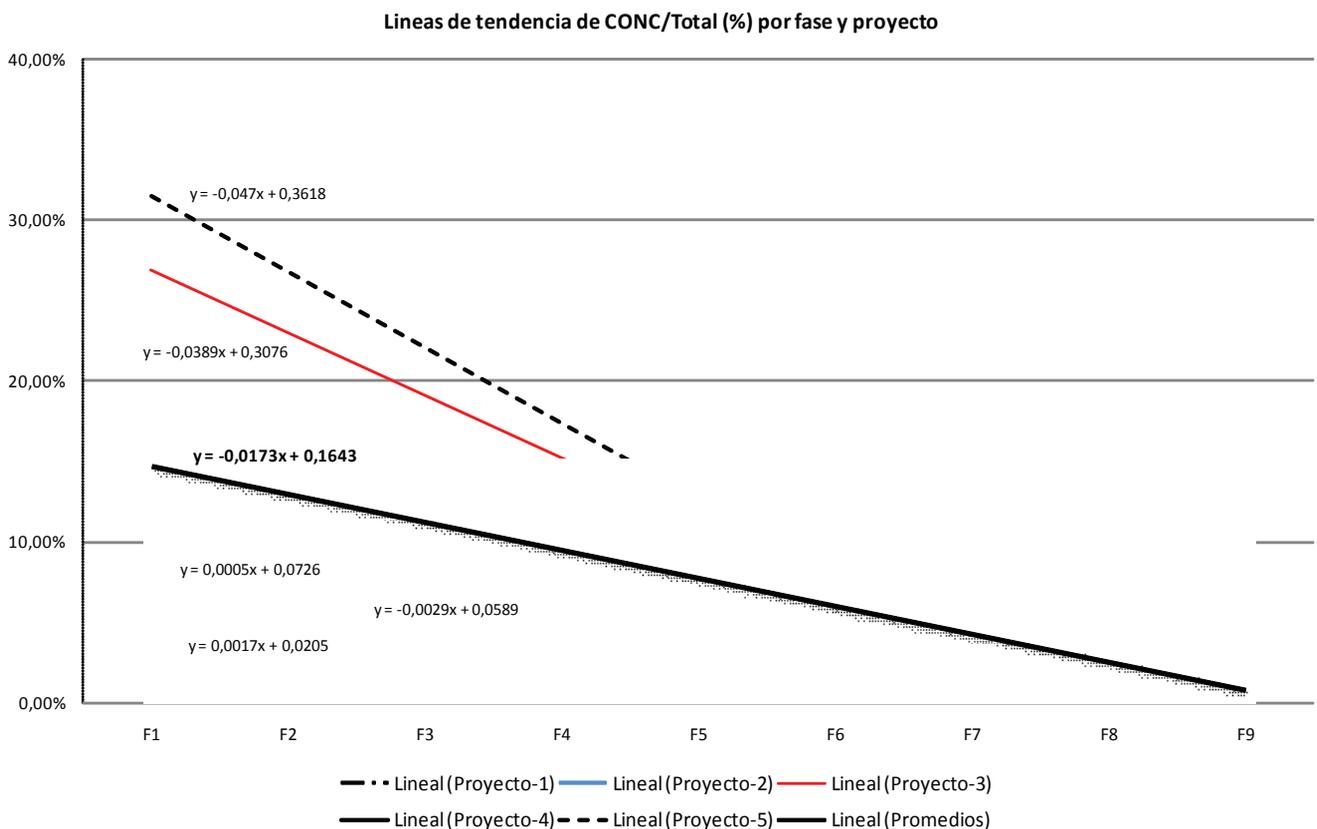


Figura 6 Líneas de tendencia de los CONC/Total de los cinco proyectos.

Costes de la Calidad (COC + CONC) por proyecto

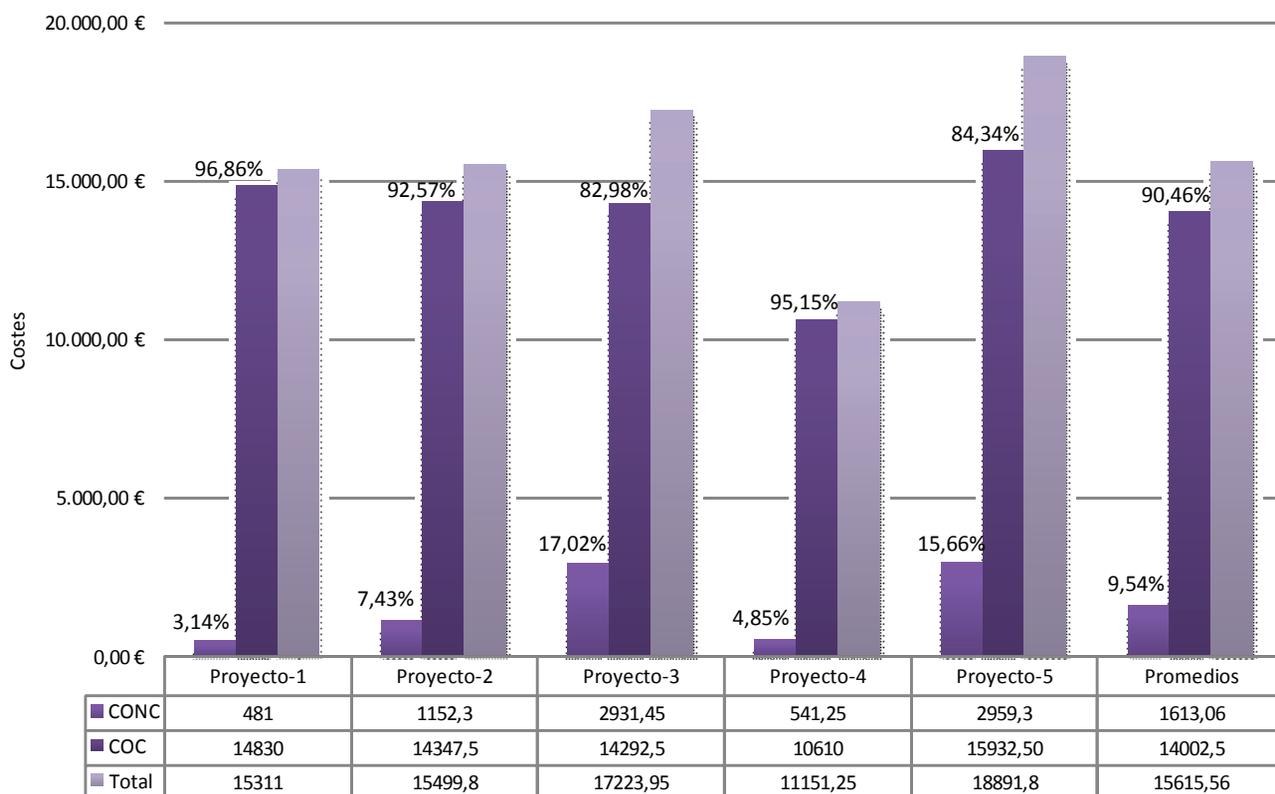


Figura 7. COC y CONC finales para cada proyecto.

Informe de costes totales del proceso de diseño- Proyecto 1										
Proceso: Diseño básico del Proyecto 1 / Estacionamiento regulado										
Responsable del proceso					Periodo: 22/09/2008 - 10/12/ 2008					
Procesos de conformidad	COC			Responsable	Procesos de no conformidad	CONC			Responsable	
	R	E	(€)			R	E	(€)		
Reuniones: Equipo de proyectistas	*		12315	Jefe de equipo de proyectos	Reuniones: Retrasos. Errores debidos a información incorrecta. Cambios iniciados por el cliente. Corrección de fallos del diseñador. Etc.	*		415	Jefe de equipo de proyectos	
Evaluación y prevención: Equipo de proyectistas	*		1425	Jefe de equipo de proyectos	Evaluación y prevención. Errores y retrasos por re-evaluaciones.	*		30	Jefe de equipo de proyectos	
Otros: Equipo y material de referencia. Espacios de reunión.	*		1090	Jefe de equipo de proyectos	Otros: Retrasos por equipo no funcional		*	36	Jefe de equipo de proyectos	
Total COC:			14830	96,86%	Total CONC:			481	3,14%	
Total costes de la calidad:			15311							

Tabla 6. Informe del coste del proceso de diseño para el proyecto 1

Se considera conveniente resaltar un aspecto en el análisis de los datos obtenidos. En la tendencia general del comportamiento de los costes de la calidad (COC+CONC) en los cinco proyectos para cada fase (figura 3), un

incremento en los mismos no siempre denota un desequilibrio o errores en la elaboración, ya que la naturaleza propia de los trabajos de la MDP-UPC y el tipo de proyecto influyen en dicha variación. Se destaca la variación “controlada” (ya sea

un aumento o decremento) que se obtuvo y hasta cierto punto uniforme, que permitió detectar las causas y el origen de las mismas. De igual manera, es necesario destacar la influencia que tienen diversos factores en los casos de estudio sobre los costes de la calidad recopilados:

- La experiencia del equipo de proyectistas, aplicada en la resolución del proceso.
- La dificultad técnica que pudo representar por su naturaleza cada proyecto.
- A medida de que se avanzaba con el desarrollo de una fase, fue necesario en ocasiones volver a los apartados anteriores para mejorar, corregir o complementar información. De esta manera, la actividad de retroalimentación cíclica propia de la metodología fue un factor que influyó en la forma de recopilar los CONC.

Estos factores, influirían en los costes estimados para cada fase del diseño, de una u otra manera. Sin embargo, esta

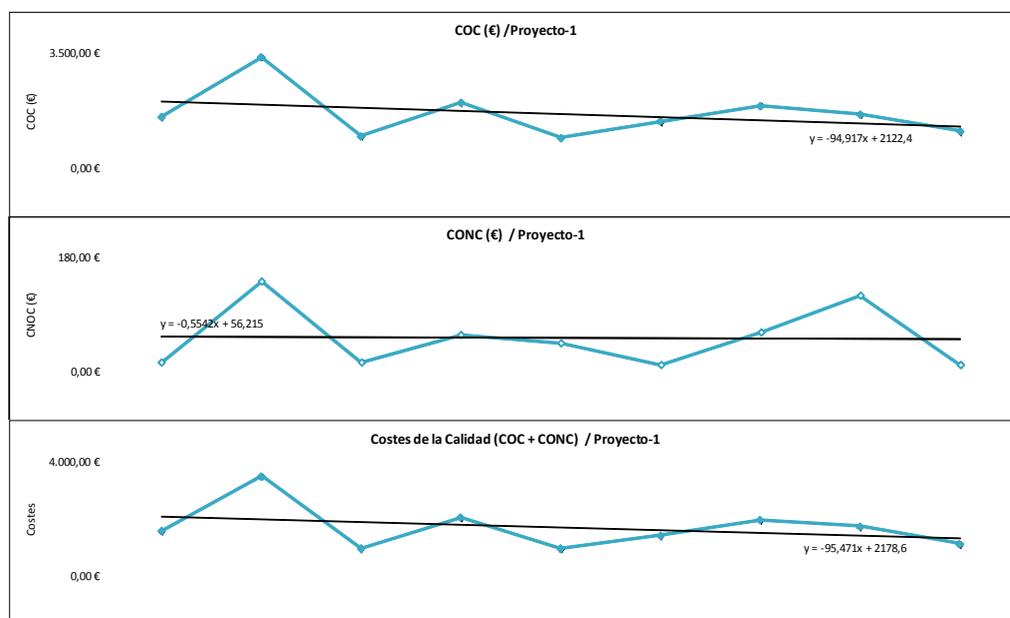
primera aproximación de aplicación de la propuesta CCDPC permite estimar las consecuencias financieras de una mala calidad, ya que la disminución de los CONC representa un incremento directo en la utilidad de la empresa. Enfatizando que el objetivo principal del control sistematizado de los costes de la calidad es crear una herramienta de mejora continua en los procesos iniciales del proyecto.

4. CONCLUSIONES

Se puede encontrar datos publicados sobre el empleo de modelos de costes de la calidad, destacando la poca información en relación a la industria de la construcción. Los sistemas de costes de la calidad desarrollados para proyectos de construcción se aplican a partir de la fase de ejecución del proyecto; el diseño se considera solamente como una causa de fallo. Actualmente, se pueden destacar la falta de un enfoque sistemático en los procesos del diseño, que permita controlar

los costes de la calidad de manera eficientemente y, de esta manera, gestionar la mejora continua.

La aplicación de un modelo de costes de la calidad en el diseño de proyectos de construcción proporcionaría una herramienta para la solución de problemas actuales en el diseño de proyectos, tal como se ha planteado en este trabajo. De esta manera, con la metodológica CCDPC se busca establecer referencias en el tratamiento de los costes de calidad en el diseño de proyectos de construcción, bajo un enfoque sistemático y



Elaborado por:	Firma:
Aprobado por:	R=Real E=Estimado

5. ACRÓNIMOS UTILIZADOS

MDP-UPC	Metodología de Diseño de Proyectos de la Universidad Politécnica de Cataluña
PCM	Process Cost Model -Modelo de costes de la calidad por procesos
CCDPC	Metodología Costes de la Calidad en el Diseño de Proyectos de Construcción
QPMS	Quality Performance Management System-Sistema de gestión del desempeño de la calidad
QPTS	Quality Performance Tracking System-Sistema de seguimiento del desempeño de la calidad
QCM	Quality Cost Matrix-Matriz de coste de la calidad
CQCQS	Construction Quality Cost Quantifying System-Sistema de cuantificación de coste de la calidad en la construcción
QCPCM	Quality Costs- Process Costs Model-Modelo de costes de la calidad del proceso
PROMQACS	Project Management Quality Cost System-Sistema del coste de la calidad en la gestión de proyectos
BSI	British Estándar Institute-Instituto de Normalización Británica
COC	Cost of conformance-Coste de conformidad
CONC	Cost of no conformance-Coste de no conformidad
PEF	Prevención, Evaluación y Fallos
TQM	Total Quality Management-Gestión total de la calidad
CONC/Total	Porcentaje del CONC con respecto al coste total de la fase

analítico. Los casos de estudio planteados fueron desarrollados con criterios de validez y fiabilidad, permitiendo estimar el CNOC con respeto a los coste total del diseño para cada uno de los cinco proyectos, en el orden de 3,14%; 7,43%; 17,02%; 4,85% y 15,66% (promedio igual a 9,54%), respectivamente. Estos porcentajes fueron el resultado de un proceso de mejora continua, cuyo objetivo era la disminución progresiva de los mismos; eso se atribuye a las acciones específicas de mejora hechas en cada fase para cada equipo de trabajo, a través del reconocimiento exacto de las actividades de no conformidad y sus causas.

Se optimizó el proceso de diseño en los proyectos desarrollados y se logró una variación sensiblemente uniforme de los COC, considerando que estos variaban según la fase y la naturaleza del proyecto; pero, sobre todo, se presentó una disminución de los CONC que representan fallos y errores al no obtener un resultado de acuerdo a los estándares establecidos. Estos CONC generalmente se encuentran incluidos dentro del coste total del proceso, sin identificar. Dichos valores permiten cuantificar el impacto de la no calidad en el diseño de proyectos y su repercusión económica en las etapas posteriores del mismo sería mayor. Se considera necesario el desarrollo de futuras aplicaciones de la metodología CCDPC propuesta en este trabajo.

Un sistema de control de costes de calidad debería ir acompañado de un proceso de mejora eficaz que reduzca los errores que se están cometiendo tanto en las áreas administrativas como en las de producción; de esta manera, podría incorporarse en la planificación del proyecto la consideración de los costes de la calidad en la elaboración del presupuesto del mismo. Con este trabajo se busca mostrar un panorama amplio y actual de la aplicación de los modelos de costes de la calidad y establecer sus limitaciones. Los autores de este trabajo, consideran necesarias, la investigación y desarrollo de herramientas y técnicas de gestión de la calidad para la industria de la construcción.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el apoyo del Comisionado para Universidades e Investigación del Departamento de Innovación, Universidades y Empresa de la Generalitat de Catalunya y del Fondo Social Europeo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aoieong R, Tang SL y Ahmed S. "A process approach in measuring quality costs of construction projects: model development". *Construction Management and Economics*. 2002 Vol. 20-2 p. 179-192.
- Arditi D, Gunaydin H. "Factors that affect process quality in the life cycle of building projects". *Journal of Construction Engineering and Management*. 1998, col. 124-3, p. 194-203.
- Burati J, Farrington J, Ledbetter W. "Causes of quality deviations in design and construction". *Journal of Construction Engineering and Management*. 1992, vol. 118-1, p. 34-49.
- BSI. *Guide to the Economics of Quality: Process Cost Model*, BS 6143: Part 1. London: British Standards Institution, London, 2002.
- Capó-Iturrieta O. "Nueva metodología para la elaboración de Marco Lógico. Propuesta de aplicación en proyectos agropecuarios".

- Director: Santos Gracia Villar. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Departamento de Proyectos de Ingeniería, Barcelona 2006
- Chuang, Ch, Tsai Ch. "A fuzzy neural approach for diagnosing PCM executing problem". En: *Proceedings of the 2005 Systems and Information Engineering Design Symposium*. Ellen J. Bass, ed. 2005. P 171-176.
- Davis K, Ledbetter W, Burati J. "Measuring design and construction quality costs". *Journal of Construction Engineering and Management*, 1989, vol. 115, p. 389-400.
- Dzul-López L, Gracia-Villar S. "Los costes de la calidad en el diseño de proyectos de construcción: un enfoque de procesos". *DYNA Ingeniería e Industria*. Abril 2008a. Vol. 83-1, p. 411-422.
- Dzul-López L, Gracia-Villar S. "Análisis de los sistemas de gestión de los costes de la calidad en la industria de la construcción". *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*. Diciembre 2008b. Vol. 12-3, p. 53-61.
- Dzul-López L, Gracia-Villar S. "Contexto actual de los sistemas de costes de la calidad desarrollados y aplicados a proyectos de construcción: la necesidad de medición de la calidad en el diseño". *Revista Informes de la Construcción*. Abril-junio 2009. Vol. 61-514, p. 41-50.
- Dzul-López L, Gracia-Villar S, González-Benítez M, García-Carrillo, A. "Propuesta metodológica para la medición y seguimiento de los costes de la calidad en el diseño de proyectos". *Afinidad*. 2009, Vol. 66-540. In press
- Estay-Niculcar C, Fernández-Ros J, Gracia-Villar S, García-Carrillo A, Cremades-Oliver L, Dzul-López L, González-Benítez M. "Metodología de diseño de proyectos de Ingeniería Química a partir del fomento del aprendizaje cooperativo". 2009. *Afinidad*, Vol. 65-539. In press
- Ezeldin S, Abu-Ghazala H. "Quality Management System for Design Consultants: Development and Application on Projects in the Middle East". *Journal of management in engineering*. April 2007, Vol. 23-2, p. 75-87.
- García-Carrillo A, Gracia-Villar S, Estay-Niculcar C, Cisteró Bahima J, Fernández-Ros J, Álvarez-Larena A. "Metodología de enseñanza-aprendizaje en diseño de proyectos de ingeniería". *Afinidad*. 2007, Vol. 64-529, p. 456 - 463.
- Gracia-Villar S, Dzul-López L. "Modelo PEF de costes de la calidad como herramienta de gestión en empresas constructoras: una visión actual". *Revista Ingeniería de Construcción*. Abril 2007, Vol. 22-1, p. 43-56.
- Gracia-Villar S, García-Carrillo A, Estay-Niculcar C, Cremades-Oliver L, Dzul-López L, González-Benítez M, Capó O, Fernández-Díez F. "Elaboración del Marco Lógico a partir de la Metodología de Diseño de Proyectos (MDP)". *Afinidad*. 2009, vol. 66-541. In press.
- Hall M, Tomkins C. "A cost of quality analysis of a building project: towards a complete methodology for design and build". *Construction Management and Economics*. 2001, Vol. 19, p. 727-740.
- Idescat. *Coste laboral por hora efectiva*. *Industria* [En línea]. Instituto de Estadística de Cataluña [ref. 21 de Marzo de 2009]. Disponible en Web: <<http://www.idescat.cat/treball/etcl?tc=4&tid=cc9154&tlang=es>>.
- Love P, Irani Z. "A project management quality cost information system for the construction industry". *Information and Management*. 2003, Vol. 40, p. 649-661.
- Low S, Yeo H. "A construction quality costs quantifying system for the building industry". *International Journal of Quality and Reliability Management*. 1998, vol. 15-3, p. 329-349.
- Tang S, Aoieong R, Ahmed S. "The use of Process Cost Model (PCM) for measuring quality costs of construction projects: model testing". *Construction Management and Economics*. March 2004, Vol. 22-3, p. 263-275.
- Tang S, Ahmed S, Aoieong R, Poon S. *Construction Quality Management*. China: Hong Kong University Press, 2005. ISBN 9622097464.
- Wang Ch, Tsai Ch, Cheng Y. "Knowledge-based diagnosis model for PCM executing problems in public construction". *Construction Management and Economics*. 2007, Vol. 25-2, p. 129-142.
- Yin R. *Case Study Research/ Design and Methods*, Applied Social Research Methods. 2nd ed., Vol. 5 Newbury Park, CA: Sage, 1994.