

Estado de progreso en el desarrollo de proyectos software apoyado por Semat y QFD

Progress status in the development of software projects supported by Semat and QFD

Luis Fernando Castro Rojas^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-7244-7069>
Esperanza Espitia Peña¹  <https://orcid.org/0000-0002-8750-5540>

Recibido 10 de septiembre de 2021, aceptado 30 de noviembre de 2022
Received: September 10, 2021 Accepted: November 30, 2022

RESUMEN

El éxito en el desarrollo de un proyecto de software consiste en cumplir con los objetivos para el cual fue concebido. Un aspecto fundamental radica en medir el estado de progreso del proyecto a través del seguimiento, determinando que controles se deben establecer y tomando acciones correctivas. Este artículo propone el uso de elementos provistos por SEMAT y procedimientos establecidos por el método QFD con el fin de enfrentar algunos problemas que se presentan en la medición del progreso en proyectos de desarrollo de software. Como resultado se describen diversos enfoques orientados a medir el progreso en el desarrollo de proyectos software. Además, se presenta un modelo de representación basado en SEMAT y se desarrolla un modelo de validación basado en la matriz de calidad de QFD. Este trabajo se constituye como un valioso aporte en el ámbito de la ingeniería de software ya que establece lineamientos para medir el avance de progreso en el desarrollo de proyectos software.

Palabras clave: Desarrollo de software, progreso, calidad, SEMAT, QFD.

ABSTRACT

Success in developing a software project consists of meeting the objectives for which it was conceived. A fundamental aspect lies in measuring the progress status of the project through monitoring by determining what controls should be established and taking corrective actions. This article proposes using elements provided by SEMAT and procedures established by the QFD method to face some problems that arise in measuring the progress of software development projects. As a result, various approaches to measuring progress in software project development are described. In addition, a representation model based on SEMAT is presented, and a validation model based on the QFD quality matrix is developed. This work provides a valuable contribution to the field of software engineering since it establishes guidelines to measure the advance of progress in the development of software projects.

Keywords: Software development, progress, quality, SEMAT, QFD.

¹ Universidad del Quindío. Facultad de Ingeniería. Armenia, Colombia.

E-mail: lufer@uniquindio.edu.co; eespitia@uniquindio.edu.co

* Autor de correspondencia: lufer@uniquindio.edu.co

INTRODUCCIÓN

Estudios evidencian que, en mayor proporción, los trabajos enfocados en la medición de ingeniería de software se orientan principalmente hacia mediciones del producto y en una menor proporción hacia el proceso y el proyecto que se ejecuta para la obtención de dicho producto. Expertos afirman que lo anterior se debe a que medir el producto es mucho más fácil que medir el proceso y el proyecto, dado que, en estos últimos, la definición de atributos por lo general es ambigua [8]. De acuerdo con Cadena, Jiménez y Sánchez [6] es necesario realizar seguimiento y medición de los procesos, para conocer si los resultados generados están en relación a lo planificado incluyendo medidas correctivas. Para realizar acciones de mejora no es suficiente la documentación de los procesos, se debe conocer el desempeño, definiendo un conjunto de indicadores que permitan recoger de manera adecuada y representativa la información relevante respecto a la ejecución y resultados de uno o varios procesos.

Existen diversas prácticas que apoyan la medición de distintas entidades relacionadas con el área de ingeniería de software, incluidas en marcos reconocidos tales como SPICE (ISO 15504), CMM, CMMI, PMBOK, PSP y TSP, entre otros [19]. Tanto académicos como industriales utilizan estas prácticas y estudios empíricos para generar una variedad de propuestas orientadas a soportar el control del avance de progreso en el desarrollo de proyectos software. Sin embargo, la mayoría de estos enfoques adolecen de unas bases teóricas y un núcleo común que facilite su adecuada implementación, integración y entendimiento. Además, la falta de rigurosidad en la mayoría de estos enfoques trae como consecuencia problemas relacionados con incertidumbre y falta de confianza [10].

El núcleo de la esencia de SEMAT (*Software Engineering Method and Theory*) apoya la representación de prácticas modernas proporcionando un conjunto de elementos que se usan para obtener, de manera sistemática, información a partir de los procesos de ingeniería y controlar las actividades ejecutadas durante el proceso de desarrollo de software [17]. Por ejemplo: gestión de interesados, educación de requisitos y desarrollo de sistemas software, entre otros [20]. Esta representación ayuda a superar

los inconvenientes ocasionados por la falta de una fundamentación adecuada y fomenta la calidad de productos software proporcionando un soporte sólido desde el punto de vista teórico y conceptual.

Por otra parte, hoy día se puede evidenciar la existencia de varias herramientas específicas en la gestión de calidad utilizadas en el desarrollo de proyectos de software. Una de ellas es QFD (*Quality Function Deployment*) que provee un marco de calidad el cual considera en todo momento la valoración y concepto que el cliente estima conveniente para lograr la satisfacción de sus necesidades, incluyendo una secuencia de pasos y procesos para tal fin [3]. Es importante precisar que la calidad de QFD está centrada en la integración de cada uno de los procesos de gestión y la responsabilidad de cada uno de los interesados, permitiendo obtener una gestión de calidad en todas las fases y los procesos que se encuentran involucrados en el desarrollo de un producto, incluyendo el desarrollo de software [14].

En este artículo se propone aprovechar las bondades de QFD para estructurar un conjunto de indicadores que permitan apoyar el control del avance de progreso en el desarrollo de proyectos software. De igual forma, se utiliza la capacidad provista por el núcleo de la esencia de SEMAT para representar y fundamentar teóricamente el proceso completo de desarrollo de proyectos software y en este sentido se propone y describe una extensión a dicho núcleo relacionada con la medición del avance de progreso. Dicha extensión se basa en la especificación provista por QFD, que a su vez será integrada al marco descrito por SEMAT. Adicionalmente, una vez hecho lo anterior se propone un conjunto de indicadores que ayudan a medir dicho estado de avance. Estos indicadores se seleccionan a partir de una revisión de literatura y una encuesta aplicada a varios representantes de empresas de desarrollo de software de la región. Finalmente, estos indicadores se utilizan como insumo para poder poblar las matrices que componen la casa calidad de QFD.

TRABAJO RELACIONADO

A continuación, se presentan varios estudios relacionados, los cuales permiten evidenciar la relevancia e impacto de la temática tratada en este artículo. Por una parte, se presentan algunos

trabajos basados en la utilización de Semat como marco de representación e integración. El trabajo desarrollado por Perdomo [21] presenta un modelo para la medición del progreso del alfa sistema de software del núcleo de Semat, el autor valida la aplicación de dicho modelo mediante un caso de estudio con una empresa desarrolladora de software. Como resultado se propusieron 6 representaciones en el núcleo Semat para ilustrar las relaciones de cada uno de los estados del alfa con sus respectivas medidas y diferentes productos de trabajo. Aguirre [22] propone una representación basada en Semat de las prácticas de la norma ISO/IEC 29110, obteniendo como resultado una ilustración de las actividades definidas en la norma y los productos de trabajo asociados a ellas. Henao [23] identifica una estructura común de los constructos en la disciplina de gestión de proyectos y propone una representación de dichos constructos mediante Semat. En este trabajo se obtuvo un núcleo compuesto por alfas, espacios de actividad y competencias, el cual incluye patrones de marcos tales como PMBOK, PRINCE2, SBOK. Durango [24] presenta una representación basada en Semat de los métodos de desarrollo de los sistemas de información geográfica, el autor identificó los principales métodos de desarrollo de sistemas de información geográfica y propuso 3 buenas prácticas que se incorporaron en los métodos analizados para mejorar la planeación, el ciclo de desarrollo u la satisfacción del cliente. Finalmente, se presentan algunos trabajos que se enfocan en medir el estado de progreso del desarrollo de proyectos software. Hashmi y Baik [25] describen una propuesta para medir y mejorar el rendimiento de proyectos que usan XP (Extreme Programming). Los autores proponen la inclusión de análisis cuantitativos y diagramas provistos por Six Sigma. Ebert [26] propone la aplicación de 4 técnicas de gestión del ciclo de vida del producto, las cuales incluyen análisis de técnicas y rendimiento planeado, coeficientes de correlación y pruebas chi-cuadrado, entre otros. Ebert [27] presenta un enfoque basado en análisis de retrasos, tamaños de proyectos, duración, calidad y fase de despliegue de los proyectos, entre otros. Hwang y Kim [28] presentan una propuesta para reducir retrasos en los proyectos basada SPI (Software Process Improvement) proporcionando una base de gestión de procesos cuantitativa.

Como se puede apreciar, las anteriores propuestas con completamente aisladas y demasiado particulares

para los intereses y puntos de vista propios de los autores, por tanto, no existe un hilo conductor común entre ellas. Adicionalmente, estos estudios carecen de elementos integradores y comunes, lo cual dificulta su adecuado entendimiento y fácil aplicación. A diferencia de los trabajos previamente mencionados, la propuesta descrita en este artículo se orienta no solo a proporcionar una base común de referencia apoyada en la revisión de literatura y las prácticas industriales de desarrollo de software, sino también a establecer un marco general y confiable, bajo el cual es posible configurar diversas caracterizaciones de procesos de medición. Esta generalidad y confiabilidad se logra mediante la inclusión de marcos mundialmente conocidos y aceptados tales como Semat y QFD.

METODOLOGÍA

De acuerdo con Méndez [15] un marco metodológico se refiere al conjunto de elementos de apoyos metodológicos, que se requieren para planear de la forma en que se va proceder con el desarrollo de la investigación. Teniendo como base los aspectos metodológicos descritos por Arroyave, Maya y Orozco [2] se establece que la metodología para el desarrollo de este proyecto consta de las siguientes etapas. Las cuales se ilustran en la Figura 1.

Etapas 1. Conocimiento: En esta etapa, se realiza una exhaustiva búsqueda, recolección y síntesis de información acerca de SEMAT y QFD. Lo anterior permite en primer lugar, caracterizar dichos marcos y, en segundo lugar, evidenciar su aplicación en el ámbito tanto académico como empresarial con

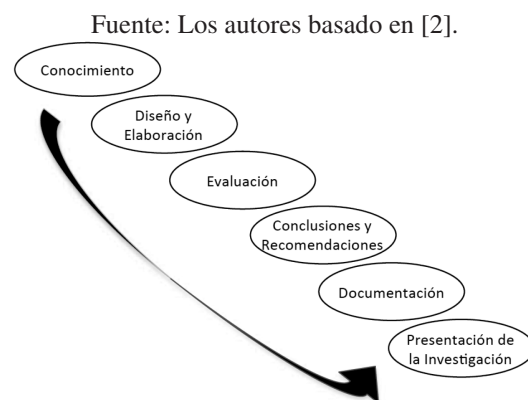


Figura 1. Pasos de la metodología propuesta.

miras a soportar el control del avance de progreso en el desarrollo de proyectos software.

Etapla 2. Diseño y Elaboración: Según Arias [1], el diseño de la investigación se define como una estrategia general que asume el investigador para dar respuesta al problema planteado. Por otra parte, el diseño también involucra las decisiones que se toman en lo concerniente a la recolección de datos [9]. De esta forma es necesario indicar los aspectos metodológicos relacionados con la población y muestra que servirán como apoyo en la recolección de información.

Según Hurtado de Barrera [9] la población y muestra establece las unidades de estudio como el conjunto de seres que poseen la característica o evento a estudiar y que se enmarcan en los criterios de inclusión que conforman la población. Para este caso la población objetivo se refiere a aquellos actores que cumplen roles de profesionales en el desarrollo de software, los cuales tienen relación con procesos de medición del estado de progreso de sus proyectos de desarrollo de software y que se desempeñan laboralmente en empresas dedicadas al desarrollo de software con una cobertura en el ámbito nacional.

Una vez identificada la población se toma una muestra representativa para realizar una encuesta en donde los encuestados se seleccionan con base en su disposición para colaborar, el tipo de experiencia, actitud y conocimientos necesarios, lo que permite obtener el máximo beneficio de la información recolectada.

Población y muestra: se incluyen 11 empresas del sector software registradas ante cámara de comercio en el departamento del Quindío. Se realiza un muestreo por conveniencia [11], formado por los casos disponibles a los cuales se tiene acceso. La selección de la muestra se realiza teniendo en cuenta el carácter nacional inclusive internacional de los tipos de proyectos de desarrollo de software que son ejecutados por dichas empresas [7].

Técnicas y recolección de datos: Las técnicas de recolección de datos se basan en la observación directa y la revisión documental apoyadas por instrumentos tales como fichas, revisiones bibliográficas y encuestas.

Operacionalización de los objetivos: Como elemento relevante dentro del marco metodológico, se establece la operacionalización de los objetivos, que consiste en relacionar los objetivos específicos con las variables de investigación. Según Hurtado de Barrera [9], este proceso de operacionalización permite al investigador identificar aquellos aspectos perceptibles de un evento que hacen posible dar cuenta de la presencia o intensidad de éste.

Para este efecto se cuenta con las herramientas y recursos provistos por SEMAT y QFD, que permiten llevar a cabo la operacionalización mencionada de forma clara y precisa.

Etapla 3. Evaluación: La evaluación de los resultados del proyecto se lleva cabo mediante un estudio de laboratorio con el fin de validar las respuestas dadas por los encuestados. Esta validación se realiza mediante la integración del uso de elementos del núcleo SEMAT para representar la practica asociada al proceso de medición del estado de progreso de proyectos software y uso de la metodología de QFD para la construcción de la matriz de casa de calidad con el fin de identificar y analizar las respuestas dadas en la encuesta.

Etapla 4. Conclusiones y Recomendaciones: En esta etapa se presentan los resultados obtenidos y se demuestra la importancia de medir el estado de progreso en el desarrollo de proyectos software a través de la caracterización de los elementos provistos por el núcleo de SEMAT y la integración del despliegue de la función de calidad QFD como enfoque para el aseguramiento de la calidad. Además, se apoya la ejecución de procesos, en particular el proceso relacionado con la medición del estado de progreso en el desarrollo de proyectos, asegurando la obtención de resultados confiables y satisfactorios para los interesados.

Se plantean algunas recomendaciones, proporcionando de igual forma, un diagnóstico sobre el impacto de esta propuesta en relación con la medición del estado de progreso en el desarrollo de proyectos software.

Etapla 5. Documentación: se documenta con el fin de mantener evidencia de las actividades realizadas y permitir la reproducibilidad de esta, así como para respaldar los resultados obtenidos en ella.

Eta **pa** 6. Presentación de los resultados: Se presentan los resultados correspondientes en función de los objetivos del trabajo, los cuales consisten en identificar el grado de impacto y grado de importancia del estado de progreso de desarrollo de los proyectos de software.

RESULTADOS

El núcleo de la esencia de SEMAT incluye un conjunto de elementos que son universales a todos los esfuerzos de ingeniería de software. Mediante los estados definidos por sus elementos, el núcleo Essence [17] proporciona un novedoso y efectivo instrumento para razonar acerca del progreso y la salud de los esfuerzos de desarrollo de software de una manera independiente del método [4,5]. El creciente número de proyectos software requiere el desarrollo de métodos que garanticen el aseguramiento de su calidad y su efectiva gestión. Tradicionalmente, propuestas para guiar los cambios en la gestión de proyectos se basan en enfoques tales como: modelo cascada, modelo espiral incremental, prototipo y desarrollo rápido de aplicaciones. Sin embargo, hoy día QFD se ubica como una de las nuevas herramientas utilizadas [18]. Además, se puede usar para incrementar la satisfacción del cliente incorporando la voz del interesado en el proceso desarrollo de software y actividades de evolución en su ciclo de vida [13]. Según Jones [12], los defectos

potenciales corresponden a la suma de errores que se encuentran en requisitos, diseño, codificación, documentos de usuario y malas correcciones. El autor propone el uso de QFD para apoyar la prevención de defectos y también propone SEMAT como un método que promete un diseño y calidad de código mejorados.

Con el propósito de determinar la forma en que QFD se puede aplicar para apoyar la medición del estado de progreso de proyectos software, así como aquellos atributos relevantes que apoyan dicho proceso de medición, se propone el uso de SEMAT para representar la práctica asociada al proceso de medición del estado de progreso de proyectos software. SEMAT define 3 áreas de interés inmersas en el desarrollo de un proyecto software: Cliente, Solución y Esfuerzo. Una vez analizadas dichas áreas, se establece que este trabajo se investigación se apoya en el área de interés conocida como Esfuerzo. De acuerdo con OMG [17], esta área de interés contiene todo lo que tiene que ver con el equipo y la forma en que ellos enfocan su trabajo. Además, considera aquellas practicas orientadas a planear, guiar y monitorear los esfuerzos del equipo. De esta forma se elabora la caracterización de un conjunto específico de actividades que se agrupan dentro de la práctica denominada “Medir estado de progreso”. En la Figura 2 se ilustra la representación de esta práctica con sus respectivos productos de trabajo.

Fuente: Los autores.

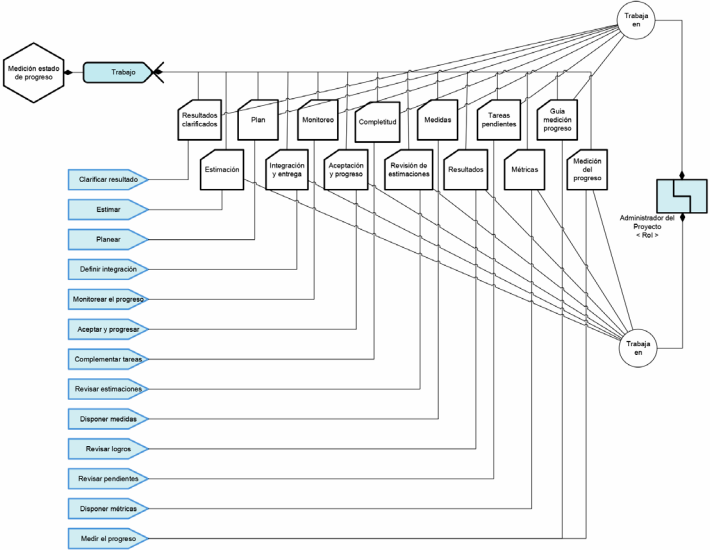


Figura 2. Práctica “Medición estado de progreso”.

Por otra parte, se presenta la descripción del método para aplicar QFD en el contexto de la medición del estado de avance en el desarrollo de proyectos software. Es importante aclarar que la definición de los conceptos de medición y medida se ajustan a lo descrito en la norma ISO/IEC/IEEE 15939:2017.

Existe una actividad llamada “Disponer de las medidas para mostrar el progreso y la velocidad”. En este trabajo se considera dicha actividad como crucial y de manera especial, ya que, involucra las medidas esenciales para medir el estado de progreso en el desarrollo de proyectos software. Es por tal razón que como soporte a dicha actividad se hace uso de QFD, definiendo para ello un conjunto de actividades agrupadas bajo el espacio de actividades que se denominó “Integrar QFD al proceso de medición”.

Cada una de las actividades se asocia con su correspondiente competencia, producto de trabajo, espacio de actividades, alfa y práctica, tal como se ilustra en la Figura 3 y Figura 4.

A continuación, se hace una descripción de cada una de las actividades:

Determinar Requisitos del Interesado. En el contexto de medición del estado de progreso de proyectos software se establece como interesados (en este caso la voz del cliente) a distintos líderes de proyectos de desarrollo de software en representación de empresas de desarrollo con ámbito de cobertura tanto nacional como internacional. Dentro de la actividad llamada “Disponer de las medidas para mostrar el progreso y la velocidad” y que se ilustra en la Figura 2, un aspecto importante se refiere a

Fuente: Los autores.

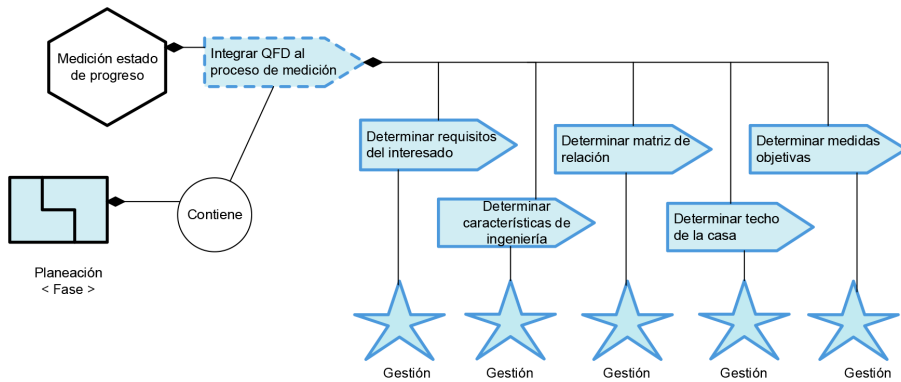


Figura 3. Espacio de actividades Integrar QFD al proceso de medición.

Fuente: Los autores.

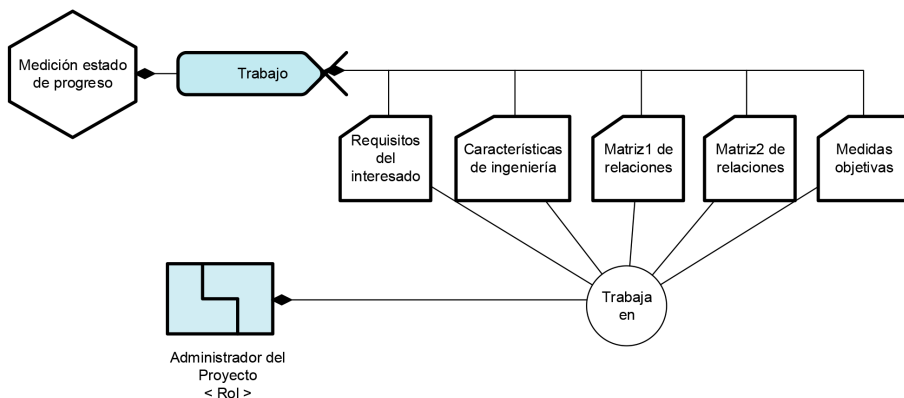


Figura 4. Productos de trabajo relacionados con Integrar QFD al proceso de medición.

seleccionar las medidas necesarias para satisfacer la medición del estado de progreso. En este trabajo se establece que dichas medidas se pueden corresponder con los requisitos o necesidades del interesado. Dichas necesidades surgen en una primera fase, a partir de una revisión de literatura que permite identificar algunas características comunes y consideradas primordiales para medir el estado de progreso de un proyecto de software. Con esta información se diseña un instrumento que se aplica a los interesados en donde se les solicita su opinión sobre las medidas que consideran relevantes para medir el estado de progreso de proyectos software. Las opciones de respuesta para los encuestados correspondieron a las diversas alternativas que se encuentran durante la revisión de la literatura, además, se tiene la posibilidad de agregar otras opciones desde el punto de vista de su experiencia profesional. Lo anterior se realiza, con el propósito de completar la primera fase cualitativa basada en el análisis de la información y los datos obtenidos por medio del instrumento.

Estas necesidades corresponden a las expectativas que forman los llamados “QUÉ” de la Casa de la Calidad tal como se ilustra en la Tabla 1.

Determinar Características de Ingeniería. Estas características corresponden a las especificaciones técnicas que forman los llamados “CÓMO” de la Casa de la Calidad. Dentro de la actividad llamada “Disponer de las medidas para mostrar el progreso y la velocidad” y que se ilustra en la Figura 2, otro aspecto importante se refiere a seleccionar las

unidades de medidas o especificaciones técnicas necesarias para satisfacer la medición del estado de progreso. En este trabajo se establece que dichas unidades de medida se pueden corresponder con las características de ingeniería.

Dichas características, al igual que las necesidades de la etapa anterior, se identifican a partir de la revisión de la literatura y posteriormente a la elaboración del instrumento que se aplica a los interesados en donde se les solicita su opinión sobre las unidades de medidas que consideran relevantes para medir el estado de progreso de proyectos software

Estas características resultantes que forman los llamados “CÓMO” de la Casa de la Calidad tal como se ilustra en la Tabla 2.

Determinar Matriz de Relación. Con base en la información que se selecciona para conformar los QUÉ y los CÓMO de la Casa de Calidad contemplada por QFD, es posible ilustrar una caracterización que permita apoyar la medición del estado de progreso de proyectos software. Es por ello, que se consideran las necesidades de los interesados y las especificaciones técnicas desde dos puntos de vista clave. El primero corresponde a las medidas que se consideran relevantes para los interesados y el segundo corresponde a las unidades de medidas que permiten lograr de manera adecuada el cumplimiento de dichas necesidades. En la Figura 5 se puede observar la relación existente entre los QUÉ y los CÓMO.

Determinar Techo de la Casa. El techo de la casa de calidad corresponde a las características de ingeniería, en este caso se identifican las interrelaciones entre dichas características, tal como, se ilustra en la Figura 6. En el techo se colocan valores que representan el grado en que cada requisito técnico aporta o dificulta el desempeño de los otros requisitos técnicos considerados, permitiendo identificar contradicciones técnicas en el diseño de productos.

Determinar Medidas Objetivas. La parte inferior de la casa consta de “Valores Objetivo”, en donde se registran valores medidos para atributos arbitrarios que tengan la posibilidad de establecer referentes objetivo de cumplimiento. Estos valores corresponden a los valores objetivo para las características de ingeniería. Ver ilustración en la Figura 5.

Tabla 1. Características seleccionadas para los QUÉ's en la casa de calidad.

Requisitos del Interesado - “QUÉ” en la casa de calidad
Defectos de software
Tamaño del proyecto
Esfuerzo
Duración del proyecto
Rendimiento del desarrollador
Rendimiento del equipo de desarrollo
Productividad
Planificación del proyecto
Satisfacción del cliente interno
Errores en producción

Fuente: Los autores.

Tabla 2. Características seleccionadas para los CÓMO's en la casa de calidad.

Características de Ingeniería - “CÓMO” en la casa de calidad		Abreviatura
Unidades de medida para defecto de software.	Número de defectos por fase	Ndf
	Número de defectos en pre lanzamiento	Ndp
	Número de componentes con errores	Nce
Frecuencia de uso de medida.	Número de personas año de esfuerzo	Npe
	Tareas comprometidas	Tco
	Líneas de código / Esfuerzo de desarrollo	Lc/Ed
	Cantidad de errores reportados	Cer
	Número de quejas de los clientes	Nqc
	Cantidad de líneas de código	Clc
Unidades de medida para el tamaño del proyecto.	Cantidad de personas año	Cpa
	Cantidad de personas mes	Cpm
	Cantidad de horas estimadas	Che
Unidades de medida de esfuerzo.	Cantidad de horas reales	Chr
	Cantidad de personas año	Cpa
	Cantidad de personas mes	Cpm
	Meses por fase de desarrollo	Mf
	Número de iteraciones (Tiempo en semanas)	Ni
	Meses por fase de desarrollo	Mf
Unidades de medida de rendimiento del desarrollador.	Número de líneas de código	Nlc
	Número de defectos / LOC (Líneas de código)	Nd/Lc
	Promedio de horas de tareas semanales	Phts
Unidades de medida del rendimiento del equipo de desarrollo.	Horas de proyecto hasta la fecha	Hpf
	Tareas realizadas hasta la fecha	Trf
	Valor ganado hasta la fecha	Vg
	Total de líneas de código	Tlc
Unidades de medida de productividad.	Líneas de código / Hora	Lc/H
	Número de requerimientos / Hombres mes	Nr/Hm
	Número de diseños / Hombres mes	Nd/Hm
	Tamaño de salida (Líneas de código) / Hombres mes	Ts/Hm
	Números de suit de pruebas / Hombres mes	Np/Hm
Unidades de medida de planificación del proyecto.	Duración actual / Duración estimada	Da/De
	Esfuerzo actual / Esfuerzo estimado	Ea/Ee
	Tiempo total de desarrollo (Personas meses)	Ttd

Fuente: Los autores.

Construcción de la casa de calidad

Para la construcción de la matriz de la casa de calidad se utiliza la información suministrada por parte de las empresas seleccionadas dedicadas a proyectos de desarrollo de software a través de una encuesta realizada, cuyo diseño se basó en la literatura revisada y en donde las dos primeras preguntas permiten dar continuidad a la realización y respuestas de las demás preguntas formuladas. A continuación, se relacionan las dos preguntas y su respectiva respuesta.

La primera pregunta es “En los proyectos software que ha participado, ¿llevan a cabo algún tipo de estimación? (Esfuerzo, tiempo, costos, tamaño)”. En la respuesta a esta pregunta se puede evidenciar que el 91% de los interesados que han participado en proyectos de software han tenido presente la estimación, tiempo, costos y tamaño. Esta respuesta se ilustra en la Figura 7.

La siguiente pregunta hace mención a. “En los proyectos de software que ha participado, ¿Para hacer el debido seguimiento a un proyecto software

Fuente: Los autores.

	CÓMO																																											
	Unid. med. defectos de software					Frecuencia de uso de medida					Unid. med. tamaño proyecto					Unid. med. de esfuerzo					Unid. med. duración proyecto					Unid. med. rendimiento desarrollador					Unid. med. Rendimiento equipo desarrollo					Unid. med. Productividad					Unid. Med. planificación proyecto			
	Ndf	Ndp	Nce	Npe	Tco	Lc/Ed	Ger	Nqc	C/c	Cpa	Gpm	Che	Chr	Cpa	Cpm	Mf	Ni	Mf	Nic	Nd/Lc	Phis	Hp/f	Tr/f	Vg	Tic	Lc/h	Nr/Hm	Nd/Hm	Ts/Hm	Da/De	Ex/Ee	Tr/d												
QUÉ																																												
Defectos de software																																												
Tamaño del proyecto																																												
Esfuerzo																																												
Duración del proyecto																																												
Rendimiento del desarrollador																																												
Rendimiento del equipo desarrollo																																												
Productividad																																												
Planificación del proyecto																																												
Satisfacción del cliente interno																																												
Errores de producción																																												
Valores objetivo																																												

Figura 5. Matriz de relación.

Fuente: Los autores.

CÓMO																																			
Unid. med defectos de software				Frecuencia de uso de medida				Unid.med. tamaño proyecto				Unid.med. de esfuerzo				Unid.med.duración proyecto				Unid.med. rendimiento desarrollador				Unid.med. Rendimiento equipo desarrollo				Unid.med. Productividad				Unid. Med.planificación proyecto			
Ndf	Ndp	Nce	Npe	Tco	LC/Ed	Cer	Nqc	Ctc	Cpa	Cpm	Che	Chr	Cpa	Cpm	Mf	Ni	Mf	Nlc	Nd/Lc	Phts	Hpf	Trf	Vg	Tlc	Lc/h	Nr/Hm	Nd/Hm	Tsr/Hm	Da/De	Ea/Ee	Trd				

Figura 6. Techo de la casa.

Fuente: Los autores.

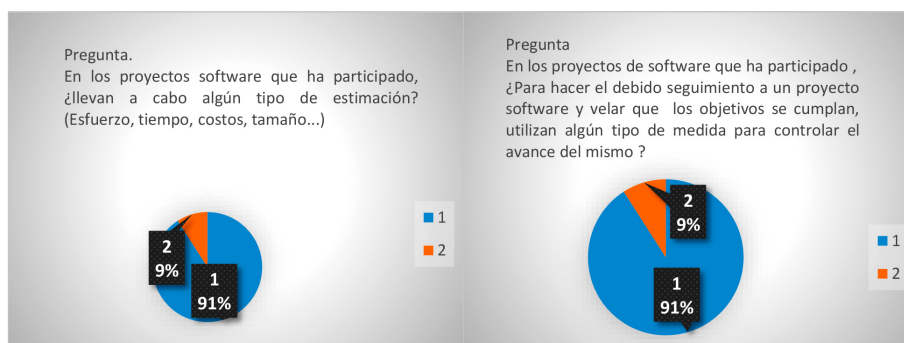


Figura 7. Balance de respuestas a las preguntas.

y velar que los objetivos se cumplan, utilizan algún tipo de medida para controlar el avance del mismo?”. La respuesta que se obtenida tiene una medida del 91% dando como afirmación que han utilizado alguna medida para hacerle seguimiento al proyecto software. Este resultado se puede observar en la Figura 7.

Una vez analizadas las preguntas anteriores el paso siguiente consiste en identificar y calificar todas las necesidades y características técnicas, construyéndose el cuerpo de la casa de calidad, en donde se determina la relación entre los requisitos o necesidades y las características técnicas. Estas características pueden afectar los requisitos de manera positiva o negativa. Este proceso de ponderación se debe realizar en un esfuerzo conjunto por parte de los roles correspondientes a los interesados y a la parte técnica.

Para el caso de este proyecto, los dos roles pueden ser desempeñados por el mismo personal o por distinto personal, esto depende de las condiciones y características del desarrollo del proyecto software en particular.

De esta manera es posible tener un entendimiento común del efecto de las características de ingeniería sobre los requisitos del cliente. Es importante mencionar que la escala para evaluar las respuestas dadas y observar el nivel de importancia se da en un intervalo de 1 a 5, donde cada valor representa el nivel de importancia en los interesados.

- 1: No importante.
- 2: Poco importante.

- 3: Neutral.
- 4: Importante.
- 5: Muy Importante.

Por consiguiente, el análisis de las características para los QUÉ's una vez realizado el proceso estadístico con base a las respuestas dadas, permiten evidenciar que los requisitos planteados y analizados por los interesados (encuestados) tienen gran prioridad en el momento de medir el estado de progreso del desarrollo de software. Esta apreciación se puede ver ilustrada en la Figura 8, donde el grado de importancia y la calidad planteada tiene una valoración de “Importante” y “Muy importante”.

Una vez identificado el grado de importancia de los QUÉ's, se continua con la matriz de relación de los Qué Vs Cómo, definiéndose cuánto impacto puede tener las especificaciones del diseño en el Requisito del cliente. En cada cuadrícula podemos dar una puntuación $C_{ij} = \{0, 1, 3 \text{ o } 9\}$ para estimar el impacto [16].

Las relaciones entre estas actividades no son siempre de 1:1, hay relaciones complejas, así como diferentes niveles de relación. Un único “requerimiento de diseño” puede tener influencia sobre varios “requerimientos del cliente”. Por lo tanto, esta matriz muestra las relaciones entre el “Qué” y el “Cómo”. Las relaciones se definen teniendo en cuenta tres niveles de relación: débil relación, media relación y fuerte relación [3].

- 0: No hay relación.
- 1: Débil.
- 3: Medio.
- 9: Fuerte.

Fuente: Los autores.

QUE's	Grado de importancia	Calidad planteada	Índice de mejora	Peso absoluto	Peso relativo
Defectos de software	4,45	5,0	0,89	22,25	1,09
Tamaño del proyecto	4,09	4,5	0,91	18,41	0,90
Esfuerzo	4,45	5,0	0,89	22,25	1,09
Duración del proyecto	4,09	4,5	0,91	18,41	0,90
Rendimiento del desarrollador	4,33	4,5	0,96	19,49	0,95
Rendimiento del equipo desarrollo	4,58	4,5	1,02	20,61	1,01
Productividad	4,36	4,5	0,97	19,62	0,96
Planificación del proyecto	4,52	5,0	0,90	22,60	1,11
Satisfacción del cliente interno	4,12	4,5	0,92	18,54	0,91
Errores de producción	4,39	5,0	0,88	21,95	1,08

Figura 8. Balance de respuestas a las preguntas.

Una celda en blanco indica que el requerimiento de diseño no tiene influencia sobre algún requerimiento del cliente. Esto significa que la interpretación del “Qué” y el “Cómo” no se realizada de forma adecuada [3].

Una vez se realiza el análisis con la información obtenida por los requerimientos de los interesados vs las características técnicas referente a la importancia del estado de progreso de los proyectos

de software se obtiene la matriz de relación. Tal como se ilustra en la Figura 9.

Como se puede observar los resultados obtenidos en la matriz permiten identificar y realizar un diagnóstico del grado de importancia y grado de impacto que son relevantes para las empresas dedicadas al producto de software, ya que, permite identificar y relacionar los requerimientos de los interesados y las características técnicas consideradas en un proyecto software, permitiendo realizar controles y tomar decisiones que ayuden a la mejora de calidad y control del progreso en los proyectos. En este caso y con base en lo manifestado por los interesados que se encuestaron, las características técnicas que evidencian un mayor grado de impacto corresponden a Ndf (número de defectos por fase), Chr (cantidad de horas reales), Ttd (Tiempo total de desarrollo - Personas meses), Ea/Ee (Esfuerzo actual / Esfuerzo estimado), Nce (número de componentes con errores), Mf (meses por fase de desarrollo), Che (cantidad de horas estimadas) y Npe (número de personas año de esfuerzo).

CONCLUSIONES

Este trabajo se constituye como un valioso aporte en el ámbito de la ingeniería de software. De manera particular en lo que se refiere a medir el

Fuente: Los autores.

	CÓMO																												Peso Absoluto							
	Unid. med. defectos de software				Frecuencia de uso de medida				Unid.med. tamaño proyecto				Unid.med. de esfuerzo				Unid.med. duración proyecto				Unid.med. rendimiento desarrollador				Unid.med. Rendimiento equipo desarrollo					Unid.med. Productividad				Unid. Med. planificación proyecto		
QUÉ	Ndf	Ndp	Nce	Npe	Tco	Lz/Ed	Cer	Nic	Cic	Cpa	Cpm	Che	Chr	Cpa	Cpm	Mf	Ni	Mf	Nic	Nd/Lc	Phs	Hpf	Trf	Vg	Tic	Lz/h	Nz/hm	Nd/hm	Ts/hm	Da/De	Ea/Ee	Ttd				
Defectos de software	9	1	1	3	3	1	1	9	3	3	0	0	3	3	3	3	1	0	9	3	3	3	3	9	3	3	3	3	3	1	9	3	1,09			
Tamaño del proyecto	9	3	3	9	1	0	0	0	9	3	9	3	9	3	3	9	3	9	3	0	9	3	1	3	0	1	9	3	3	9	9	9	0,9			
Esfuerzo	9	9	9	9	9	1	0	3	3	9	3	3	9	9	9	9	9	9	9	3	9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	9	9	1,09			
Duración del proyecto	9	1	9	9	9	3	3	0	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	9	9	9	9	3	3	1	9	3	3	9	3	0,9			
Rendimiento del desarrollador	9	9	3	9	3	1	0	3	3	0	3	9	3	3	9	3	3	9	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	9	3	3	9	0,95			
Rendimiento del equipo desarrollo	9	3	3	9	3	0	1	0	3	3	1	3	9	3	3	9	3	3	9	3	3	3	3	3	3	1	3	3	9	3	3	9	1,01			
Productividad	3	3	9	3	9	3	3	9	3	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	3	1	3	1	3	3	0	1	3	3	3	9	9	0,96			
Planificación del proyecto	9	9	9	9	3	9	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	0	9	9	9	9	1	3	9	3	3	9	9	1,11			
Satisfación del cliente interno	9	9	9	3	3	3	3	3	1	0	9	9	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	0	3	3	3	3	9	9	0,91			
Errores de producción	9	1	9	3	1	1	9	9	9	3	0	9	3	1	1	1	3	3	3	1	9	1	0	0	1	1	3	1	3	1	3	3	1,08			
Grado Impacto	84	48	64	60	58	27	32	37	31	58	23	62	77	52	63	52,2	56	58	23	52	37	43,6	35	10	22	45	42	28	57	71	77	1				
Peso relativo	84	48	64	60	58	27	32	37	31	58	23	62	77	52	63	52,2	56	58	23	52	37	43,6	35	10	22	45	42	28	57	71	77					
Importancia Relativa	2	13	4	7	12	22	19	17	20	8	23	6	3	11	1	5	11	10	8	23	11	17	15	18	25	24	14	16	21	9	4	3				

Figura 9. Relación de los QUÉ vs CÓMO.

avance de progreso en el desarrollo de proyectos software.

Como aspecto para resaltar se encontró que existe una gran diversidad de enfoques de medición, así como diversos métodos empleados para desarrollar proyectos software. Algunos de estos enfoques parten de la experiencia empírica y otros se enmarcan en estándares, normas y marcos mundialmente reconocidos. Se encontró que no solo esta variedad representa un tema de preocupación, sino que la manera informal y subjetiva en que se llevan a cabo muchos de estos procesos de medición, ocasionan incertidumbre y falta de confianza tanto en el proceso como en los resultados obtenidos.

Para afrontar las dificultades generadas por esta variedad de enfoques, el uso de SEMAT permitió establecer un marco de representación sobre la base de un núcleo común que provee una serie de elementos conducentes al establecimiento de una base común que facilite el entendimiento, análisis e integración de dichos enfoques. Para lograr lo anterior se describió una caracterización de los elementos provistos por el núcleo de SEMAT que permitan identificar el estado de progreso de proyectos software y luego se describió la manera en que estas características se integran en el proceso de medición.

Por otra parte, la falta de rigurosidad en la aplicación y configuración del proceso de medición, que se evidenció en los enfoques estudiados, permitió demostrar la utilidad de integrar el enfoque de QFD (despliegue de la función de calidad) en este tipo de procesos. La aplicación de QFD con el propósito de mejorar y apoyar los proyectos de desarrollo de software es ampliamente demostrada en la literatura, sin embargo, en este trabajo se demostró de manera innovadora que QFD, como enfoque para el aseguramiento de la calidad, también, puede apoyar la ejecución de procesos. Y de manera el proceso relacionado con la medición del estado de progreso en el desarrollo de proyectos, asegurando la obtención de resultados confiables y satisfactorios para los interesados. Es en esta parte en que se proporcionó una caracterización de los elementos de QFD que se usaron para apoyar al proceso de medición y se describió la forma de integrar este marco dentro del proceso de medición.

AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS

En este artículo se presentan los resultados del proyecto de investigación No. 837 de la Universidad del Quindío titulado “Aplicación del núcleo de la teoría y métodos de la ingeniería de software (SEMAT) y la metodología de despliegue de la función de calidad (QFD) para medir el estado de progreso de proyectos software” y contó con el apoyo de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Quindío, Colombia.

REFERENCIAS

- [1] F. Arias. “El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica”. Episteme. Sexta edición. 2012. ISBN: 9800785299.
- [2] C. Arroyave, A. Maya and C. Orozco. “Aplicación de QFD en el proceso de ingeniería de requisitos”. Tesis de pregrado. Universidad Eafit. 2007. URL: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/2375>
- [3] L. Bernal and J.A. Suvelza. “Quality Function Deployment (QFD) para servicios - Manual”. Intelligence 4 Innovation, pp. 1-27. 2009. URL: <https://www.yumpu.com/es/document/view/14419495/quality-function-deployment-qfd-para-servicios-in4in>
- [4] L.F. Castro, E. Espitia and S. Jaramillo. “Propuesta para evaluar la calidad de proyectos software basada en el núcleo SEMAT y QFD”. Industria 4.0. Escenarios e impacto. Primera edición, pp. 57-70. 2018. ISBN: 978-958-8992-87-7.
- [5] L.F. Castro, S. Montaña and E. Espitia. “Chapter # 18. A KAOS representation by using the SEMAT kernel”. Software engineering: methods, modeling, and teaching. Vol. 4, pp. 322-337. Bonaventuriana. Primera edición. 2017. ISBN: 978-958-8928-49-4.
- [6] J. Cadena, A. Jiménez and A. Sánchez. “Nivel de madurez de la gestión de procesos en las medianas empresas de los sectores Metalmecánico y Alimentos Frescos y Procesados en la Provincia de Pichincha (Ecuador)”. Revista Espacios. Vol. 41 Nº 21, pp. 104-122. 2020. ISSN: 0798-1015. URL: www.revistaespacios.com/a20v41n21/a20v41n21p09.pdf

- [7] Fedesoft. "Estudio de caracterización del sector de teleinformática, software y TI en Colombia". Federación Colombiana de la Industria del Software y Tecnologías Informáticas Relacionadas.
- [8] O. Gómez, H. Oktaba, M. Piattini and F. Garcia. "A systematic review measurement in software engineering: State-of-the-Art in measures". In *Software and Data Technologies. ICSOFT 2006*. Vol. 10. Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. DOI: 10.1007/978-3-540-70621-2_14. ISBN: 978-3-540-70621-2.
- [9] J. Hurtado de Barrera. "El proyecto de investigación". Ediciones Quirón. Sexta edición. 2008. ISBN: 978-9584434401.
- [10] I. Jacobson, P. Ng, P. E. McMahon, I. Spence and S. Lidman. "The Essence of Software Engineering: The SEMAT Kernel". *ACM Queue*. Vol. 10 Issue 10, pp. 40-51. 2012. DOI: 10.1145/2381996.2389616.
- [11] R. Hernández, C. Fernández and M. Baptista. "Metodología de la Investigación". McGraw Hill. Sexta edición. 2014. ISBN: 9781456223960.
- [12] C. Jones. "Software industry goals for the years 2014 through 2018". *Journal of Cost Analysis and Parametrics*. Vol. 7 Issue 1, pp. 41-47. 2014. DOI: 10.1080/1941658X.2014.890493.
- [13] X. F. Liu. "Software Quality Function Deployment". *IEEE Potentials*. Vol. 9 Issue 5, pp. 14-16. 2000. DOI: 10.1109/45.890072.
- [14] A. Ionica, M. Leba and R. Dovleac. "A QFD based model integration in Agile software development". In *12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pp. 1-6. Lisboa, Portugal. 2017. DOI: 10.23919/CISTI.2017.7975995.
- [15] C. Méndez. "Metodología, diseño y desarrollo del proceso de investigación". McGraw Hill. Tercera edición. 2010. ISBN: 9789584102034.
- [16] Y. Moubachir and D. Bouami. "A new approach for the transition between QFD phases". *Procedia CIRP*. Vol. 26, pp. 82-86. 2015. DOI: 10.1016/j.procir.2014.07.172.
- [17] OMG. "Essence - Kernel and Language for Software Engineering Methods". Object Management Group. 2018. URL: <https://www.omg.org/spec/Essence/1.2/PDF>
- [18] E.O. Oyeyipo and C.J. Mueller. "Requirements management in an agile scrum". Report N° TXSTATE-CS-TR-2011-29. University-San Marcos. Texas, USA. 2011. URL: <https://digital.library.txstate.edu/handle/10877/2586>
- [19] M.J. Simonette, M.E.S. Magalhães and E. Spina. "PMBOK five process groups and essence standard: Perfect partners?". In *4th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*, pp. 53-58. Puebla, Mexico. 2016. DOI: 10.1109/CONISOFT.2016.17.
- [20] C.M. Zapata, L.F. Castro and F.A. Vargas. "GBRAM from a SEMAT Perspective". *Methods, modeling, and teaching*. Centro editorial facultad de minas UNAL. Primera edición. Vol. 3, pp. 21-26. 2014. ISBN: 9789587750805.
- [21] W. Perdomo. "Modelo para la medición del progreso del alfa sistema de software del núcleo de Semat con base en las normas ISO/IEC 2502n e ISO/IEC 2504n". Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2019. URL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76577?locale-attribute=en>
- [22] N.Y. Aguirre. "Representación de las prácticas de ISO/IEC 29110 en el núcleo de Semat". Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. 2017. URL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63856>
- [23] A. Henao. "Towards a theory for defining a project management multidisciplinary kernel: An approach based on Abstract Level Progress Health Attributes". Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. 2018. URL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69339>
- [24] C.E. Durango. "Definición de buenas prácticas de desarrollo de sistemas de información geográfica utilizando el núcleo de Semat". Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia. 2019. URL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76563>
- [25] S.I. Hashmi and J. Baik. "Quantitative process improvement in XP using six sigma tools". In *Seventh International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, pp. 519-524. Portland. USA. 2008. DOI: 10.1109/ICIS.2008.53.
- [26] C. Ebert. "The impacts of software product management". *Journal of Systems and Software*. Vol. 80 Issue 6, pp. 850-861. 2007. DOI: 10.1016/j.jss.2006.09.017.

- [27] C. Ebert. "Understanding the product life cycle: four key requirements engineering techniques". IEEE Software. Vol. 23 Issue 3, pp. 19-25. 2006. DOI: 10.1109/MS.2006.88.
- [28] S. Hwang and H. Kim. "A study on metrics for supporting the software process improvement based on SPICE". In Software Engineering Research and Applications. SERA 2004. Springer, Berlin, Heidelberg. Vol. 3647, pp. 71-80. DOI: 10.1007/11668855_6.