

**MODELO LIVIANO DE MEDIDAS PARA EVALUAR LA
MEJORA DE PROCESOS DE DESARROLLO SOFTWARE
MLM - PDS**



Trabajo de Grado

Diana Marcela Vásquez Bravo

Director: Phd. César Alberto Collazos

Co-Director: Ing. César Jesús Pardo

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Sistemas
Popayán, Noviembre de 2007

Nota de Aceptación

Firma Presidente del Jurado

Firma de Jurado

Firma de Jurado

Popayán, Octubre de 2007

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la oportunidad de conocerle y amarle, por darme la vida, la familia que tengo, los amigos que me rodean y por permitirme seguir luchando por desarrollarme como persona,

A mi Padre y mi Hermano, porque gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de la vida, fruto del inmenso amor, apoyo y confianza que en mí se depositó, y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales,

A los Ingenieros César Collazos y Francisco Pino, por su apoyo y sus asesorías que me posibilitaron la conquista de esta meta: Mi Formación Profesional,

Al Ingeniero César Pardo, por su tiempo y su guía en la realización de este trabajo, Gracias por creer en mí y por sus consejos tanto profesionales como personales,

A mis Compañeros, que con su cariño y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad

A mis Profesores, Gracias por sus conocimientos compartidos...

Quiero que sientan que este logro también es de ustedes y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo...

GRACIAS

TABLA DE CONTENIDO

Índice de Figuras	7
Índice de tablas	9
RESUMEN	10
Capítulo 1. Introducción	12
Capítulo 2. Marco Teórico	16
2.1 Calidad de Software.	16
2.1.1 ¿Qué es calidad?	17
2.1.2 El proceso de Software como factor determinante de la calidad de los..... productos.....	18
• ISO 9001 [22]	20
• CMMI [22].....	21
• ISO/IEC 12207:1995/Adm 1:2002 [24]	22
2.1.3 La importancia de la medición del Proceso de Software.	22
2.2 Modelos de Evaluación y Mejora	23
2.2.1. Evaluación y Mejora de los Procesos Software	23
2.2.2. La importancia de adoptar un modelo de mejora, evaluar y medir los ... resultados obtenidos.....	24
2.2.3. Métodos de Evaluación basados en el modelo de Madurez de la..... Capacidad (CMM)	25
2.2.4. El estándar ISO/IEC 15504.	26
2.2.5. El modelo CMMI.	27
2.2.6. Normas ISO 9000:2000.	28
2.2.7. Framework de Mejora IMPACT.....	29
2.2.8. Proceso de Mejora: Agile SPI – Process	30
2.2.9. Modelo de mejora IDEAL	31
2.3 Proyectos de Mejora del proceso software	32
2.3.1 ¿Qué es un SPI?.....	32
2.3.2 Ventajas de implantar un programa SPI.....	33
2.3.3 Metodologías de Mejora de Procesos de software Aplicados a MiPyMES..	34
2.4 Medidas de Software y Entidades de Medición	34
2.4.1 Ontologías de medición de Software.....	34
2.4.2 ¿Métrica ó Medida?	36
2.4.3 Indicadores	37

2.4.4	Entidades de la medición software.	39
2.4.5	Medidas de Proyecto	40
2.4.6	Medidas de Proceso	42
2.4.7	Medidas de Producto	42
2.5	Medición del Proceso de Software _____	43
2.5.1	Estándares y metodologías de medición.....	43
2.5.2	Goal Question Metric (GQM).....	44
2.5.3	Practical Software Measurement (PSM).....	45
2.5.4	ISO/IEC 15939.	47
2.5.5	La medición en los modelos de calidad, en los métodos de evaluación y en los modelos de mejora	49
2.5.6	La importancia de la medición del proyecto y el proceso de Software	52

Capítulo 3. Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software MLM – PDS..... 55

3.1	Vista General del MLM – PDS _____	55
3.1.1	Requerimientos.....	55
3.1.2	Alcance.....	56
3.1.3	Criterios empleados.....	56
3.1.4	Enfoque basado en procesos	57
3.2	Integración del MLM – PDS al Framework de Agile – SPI _____	57
3.3	Método de Trabajo _____	59
3.4	Mecanismo de Definición de las Medidas _____	60
3.5	Integración Conceptual del Modelado y la Medición del Proceso ____	62
3.6	Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software	63
3.5.1	Definición de los objetivos	65
3.5.2	Definición de las hipótesis.....	66
3.5.3	Preguntas asociadas a las hipótesis.....	66
3.5.4	Definición de Medidas Base y Derivadas.....	67
3.5.5	Definición e Interpretación de las medidas de Tipo Indicador Genérico	72
3.5.6	Definición e Interpretación de Indicadores Orientados a los Objetivos de Mejora de Procesos SPI	76
3.5.7	Proceso de Medición Sugerido por el MLM – PDS	88

Capítulo 4. Presentación de Resultados de la aplicación del Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software MLM –PDS 90

Capítulo 5. Validación empírica del Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software MLM – PDS Mediante Casos de Estudio 103

5.1	Participantes del Proyecto _____	103
5.2	Descripción de la empresa SIDEM Ltda. _____	104

5.3	Panorama previo a la mejora en la empresa SIDEM Ltda. _____	105
5.4	Aplicación del Programa de Mejora en la empresa SIDEM Ltda. ____	106
5.5	Descripción de la empresa UNISOFT Colombia Ltda. _____	107
5.6	Panorama previo a la mejora en la empresa UNISOFT Colombia Ltda. _____	108
5.7	Aplicación del Programa de Mejora en la empresa UNISOFT Colombia Ltda. _____	110
5.8	Tiempo de despliegue en las empresas SIDEM Ltda. y UNISOFT Ltda. _____	112
5.9	Aplicación del MLM – PDS en las empresas SIDEM Ltda. y UNISOFT Ltda. _____	112
5.10	Lecciones Aprendidas de los Casos de Estudio _____	113
5.11	Conclusiones de los Casos de Estudio _____	116
 <i>Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones.....</i>		<i>118</i>
 <i>Capítulo 7. Referencias Bibliográficas.....</i>		<i>124</i>
 <i>Documentos Anexos</i>		<i>130</i>

Índice de Figuras

Figura 1. Responsabilidades Clave de la Gestión de Procesos.....	13
Figura 2. Framework IMPACT.....	30
Figura 3. Modelo de Mejora de Procesos IDEAL	32
Figura 4. Reducción de Costos y Aumento en la satisfacción del Cliente [45].	33
Figura 5. Métricas de Proceso, Proyecto y Producto	40
Figura 6. Método GQM	44
Figura 7. Modelo de Procesos de Medida de PSM	46
Figura 8. Relación entre necesidades de información y atributos	46
Figura 9. Modelo de Procesos de Medición de Software (ISO/IEC 15939)	48
Figura 10. Área Clave “Medición y Análisis” de CMMI	51
Figura 11. Arquitectura conceptual de Agile SPI.....	58
Figura 12. Primer Paso para la definición de medidas	61
Figura 13. Esquema de GQM para la definición de medidas	61
Figura 14. Relación entre la Ontología de la Medición y la Ontología del proceso en UML	62
Figura 15. Proceso de Medición sugerido por el MLM - PDS	88
Figura 16. Grafica de Medidas Individuales de I2	92
Figura 17. Grafica de Medidas Individuales de I2 con el Valor Medio de I2	93
Figura 18. Grafica de Medidas Individuales de I2, Límites Superior e Inferior	93
Figura 19. Gráfico de Control Individual con Desviación Estándar	94
Figura 20. Grafica de Medidas Individuales de I2	95
Figura 21. Grafica de Medidas Individuales de I2 con el Valor Medio de I2 después de la Mejora.....	96
Figura 22. Grafica de Medidas Individuales de I2, Límites Superior e Inferior	97
Figura 23. Gráfico de Control Individual con Desviación Estándar	97
Figura 24. Gráfico del Indicador de Esfuerzo de MLM – PDS	99
Figura 25. Gráfico de la Relación entre la realización de cada Objetivo de Mejora y La cantidad de Recurso Consumido MLM – PDS [Medición 1]	99
Figura 26. Gráfico de la Relación entre la realización de cada Objetivo de Mejora y La cantidad de Recurso Consumido MLM – PDS [Medición 2]	100

Figura 27. Gráfico de la Relación entre la realización de cada Objetivo de Mejora y La cantidad de Recurso Consumido MLM – PDS [Medición 3]	100
Figura 28. Gráfico del Indicador de Eficiencia de MLM – PDS	101
Figura 29. Gráfico de las Mediciones de Productividad de MLM – PDS	101
Figura 30. Gráfico de Productividad de MLM – PDS	102
Figura 31. Gráfico de Productividad de MLM – PDS	102

Índice de tablas

Tabla 1. Contenido de ISO/IEC 15504	26
Tabla 2. Modelos de CMMI	28
Tabla 3. Normas de la familia ISO 9000.....	29
Tabla 4. Glosario de conceptos	39
Tabla 5. Métricas de Producto.....	43
Tabla 6. Actividades y Tareas en ISO/IEC 15939.....	49
Tabla 7. Prácticas Genéricas de CMMI relacionadas con la medición.	52
Tabla 8. Definición del objetivo	62
Tabla 9. Preguntas relacionadas a las hipótesis.....	67
Tabla 10. Propuesta de medidas evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software.....	71
Tabla 11. Cálculo de Esfuerzo	75
Tabla 12. Formulario de Recolección de Información del MLM - PDS	79
Tabla 13. Medida asociada al Objetivo de Mejora 1.....	80
Tabla 14. Medida asociada al Objetivo de Mejora 2.....	81
Tabla 15. Medida asociada al Objetivo de Mejora 3.....	82
Tabla 16. Medida asociada al Objetivo de Mejora 4.....	83
Tabla 17. Medida asociada al Objetivo de Mejora 6.....	85
Tabla 18. Medida asociada al Objetivo de Mejora 7.....	86
Tabla 19. Medida asociada al Objetivo de Mejora 8.....	87
Tabla 20. Medidas y Rangos Móviles para I2 Inicial.....	92
Tabla 21. Medidas y Rangos Móviles para I2 Después de la Mejora	95

RESUMEN

Las empresas de desarrollo de software en Colombia enfrentan una serie de problemas como: la construcción de software de forma artesanal, empírica y desorganizada. Por todas estas razones, los productos software desarrollados son en muchos casos de baja calidad, son terminados en tiempos inapropiados, los costos no son competitivos y las actividades de operación y mantenimiento son difíciles; generando de esta forma insatisfacción en los clientes y usuarios finales.

Considerando el gran impacto que el proceso de desarrollo de software tiene sobre la calidad del producto y que ésta, está relacionada en gran medida con la calidad de los procesos que se utilizan para desarrollarlos, se hace necesario que las empresas de desarrollo de software del país implementen proyectos para mejorar sus procesos de desarrollo, ya que asegurar la calidad a través del mejoramiento de los procesos software es un paso que las empresas deben dar para estar en condiciones de competir tanto en el mercado nacional como en el internacional, para poder exportar sus productos, incursionar y mantenerse en un mercado global y para hacer de sus proyectos unidades administrativas eficientes y eficaces [1].

Implementar modelos de mejora de procesos no es suficiente para decir si una empresa realmente está obteniendo beneficios, definitivamente una de las primeras acciones en un proyecto de mejora es el poder determinar el estado actual del proceso [1]. Por consiguiente, una organización que pretende mejorar sus procesos de desarrollo requiere utilizar un método de evaluación, que le permita identificar las fortalezas y debilidades de su proceso actual, con el fin de priorizar sus acciones de mejora. De igual forma es necesario realizar una valoración de las actividades, los responsables, los recursos y los productos de trabajo asociados al proceso de mejora que se está realizando y determinar así el estado actual de los procesos de la organización, identificando el nivel en que los procesos se encuentran institucionalizados o implementados, y de esta manera tener una visión un poco más clara acerca de los casos de mejora que se han iniciado en la organización, según los objetivos del negocio y qué tan efectivos resultan para lograr estas metas [1].

Solo midiendo es posible conocer el estado de un proceso de manera objetiva, y solo gracias a esto se pueden planificar estrategias y soluciones, acerca de las mejoras a realizar, según los objetivos de la organización.

Considerando las ideas anteriores, este trabajo propone un Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software, con el cuál se busca ayudar a las empresas de desarrollo software Colombianas a determinar si el proceso de mejora que implementan, está siendo eficaz en relación con los objetivos y metas establecidas al implantarlo, esto, a través del uso de medidas que permitan evaluar el proceso de mejora de sus procesos de desarrollo, permitiendo caracterizar las prácticas actuales de la empresa, identificando las debilidades, fortalezas y habilidades de los procesos que son llevados a cabo dentro de ésta y así controlar o evitar las causas de baja calidad, o desviaciones en costos o en planificación.

Este trabajo presenta una investigación exhaustiva del estado del arte de las distintas metodologías de creación y definición de medidas de software, de las diversas medidas existentes y el uso de las mismas, la relación existente entre las medidas de los proyectos de desarrollo de software y los proyectos de mejora, y la adaptación de éstas a las prácticas de las MiPyMES¹, además de la validación teórica y práctica de las mismas, para que de esta manera aporte a la realización de un proceso de mejora efectivo de procesos dentro de la organización.

Este Modelo de Medidas a diferencia de los modelos existentes, tiene en cuenta, para la definición de las medidas los fundamentos de la norma ISO 15939 [2], del framework que proporciona GQM (Goal Question Metric) [2] y de la metodología propuesta por la Universidad Castilla-La Mancha y el Dr. Manuel Serrano; integrando la esencia de estos métodos para lograr un buen modelo; para la parte del proceso de mejora, se tienen en cuenta aspectos del modelo IDEAL [4], el framework IMPACT [5] y el proceso Agile SPI - Process [5] y finalmente, en la parte de evaluación se tienen en cuenta elementos de la norma ISO/IEC 15504 en su parte 5: Modelo de Valoración y Directrices; todo esto adaptado al contexto de la industria de software nacional.

¹ MiPyMES: Micro, pequeñas y medianas empresas

Capítulo 1. Introducción

En la actualidad, la industria de software representa una actividad económica de gran importancia para muchos países del mundo debido a que ofrece múltiples fuentes de negocio y se perfila como la oportunidad más grande de los países en vía de desarrollo. En Colombia, la industria de software conformada por micro, pequeñas y medianas empresas, MiPyMES, se enfrenta a problemas como: la construcción de software de forma artesanal, empírica y desorganizada, la dependencia tecnológica del país y el desconocimiento de la importancia que tiene el proceso de desarrollo sobre la calidad del producto [1].

Las empresas dedicadas a desarrollar software en Colombia requieren mejorar sus procesos de desarrollo con el objetivo de lograr un nivel de madurez en dichos procesos que garantice su competitividad en el ámbito internacional [7], para esto, se hace necesario que las empresas de desarrollo de software del país implementen proyectos para mejorar sus procesos de desarrollo, ya que asegurar la calidad a través del mejoramiento de los procesos software es un paso que las empresas deben dar para estar en condiciones de competir tanto en el mercado nacional como en el internacional, para poder exportar sus productos, incursionar y mantenerse en un mercado global.

Para apoyar esta necesidad de las empresas desarrolladoras de software de implementar proyectos que les ayuden a mejorar sus procesos, se han realizado grandes esfuerzos en la optimización de tecnologías que buscan contribuir con el mejoramiento de los procesos, creando las herramientas necesarias para que la industria cuente con estándares, guías y modelos de desarrollo y de mejora de procesos que les faciliten generar productos que cumplan las expectativas del cliente y de igual forma asegurar la calidad del producto a través del perfeccionamiento de los procesos usados para generarlos.

Es importante resaltar que las organizaciones de software en general han comprendido que la clave de una entrega exitosa de un producto (en tiempo, costos y con la expectativa de calidad del cliente) radica en una efectiva gestión de sus procesos software [8]. La gestión de procesos software identifica cuatro responsabilidades clave (Ver) que son (i) definir el proceso, (ii) medir el proceso, (iii) controlar el proceso, y (iv) mejorar el proceso [9].

Sin embargo a nivel de la responsabilidad de medir el proceso se puede afirmar que en general las mediciones se realizan sobre productos y son escasas las mediciones de procesos [10].

Entonces es importante dedicar esfuerzos de investigación acerca de la medición del proceso software ya que es una actividad neurálgica para el éxito de la Gestión de Procesos Software, debido que las actividades de control y mejora que realimentan al proceso dependen de medir adecuada y objetivamente el proceso.

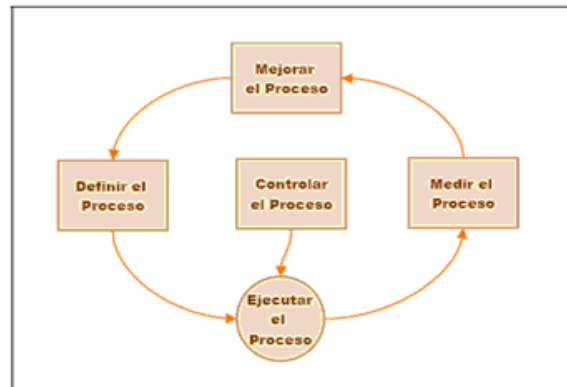


Figura 1. Responsabilidades Clave de la Gestión de Procesos

Antes de poder aplicar un proceso de mejora en cualquier organización, es necesario partir de una base cuantitativa que permita determinar, de manera objetiva, las debilidades o fortalezas de los procesos, por éste motivo, se han realizado esfuerzos en los diferentes modelos de procesos, para incorporar la medición de los procesos, como en el caso de la norma ISO/IEC 15504 [11] que define un modelo de medición ó como en CMMI [12] que incorporó una nueva área de procesos en su nivel dos de madurez denominada “Medición y Análisis”; lo anterior, considerando lo establecido por la ISO 9000:2000 en cuanto a la necesidad de implementar un modelo de medición, con el objetivo de controlar la calidad del producto, la capacidad del proceso y la satisfacción del cliente. Como soporte a los modelos de medición se pueden destacar marcos de trabajo como GQM (Goal Question Metric) [12] o GQIM (Goal Question Indicator Metric) [12] y el estándar ISO 15939 [14]. Este estándar y marcos de trabajo se esfuerzan en proporcionar la referencia necesaria para poder llevar a cabo el proceso de medición de una forma efectiva y sistemática.

En la actualidad, existen modelos como la Norma mexicana MoProSoft [15], que sugieren indicadores y mediciones que permiten a una organización analizar su desempeño, mejorar sus prácticas y entregar productos de software de alta calidad. Pero actualmente cada organización elige la forma de definir dichos indicadores, por lo tanto, es difícil hablar de estandarización a nivel de mediciones. Adicional a esto, para la mayor parte de las pequeñas organizaciones, resulta complicado reconocer qué es lo que vale la pena medir y cómo medirlo. Por estos motivos, contar con un modelo de medida que complemente los procesos de mejora, independiente del modelo ó framework de mejora adoptado por la organización, con un conjunto de mediciones que de solución a lo anteriormente descrito es importante ya que actualmente las mejoras introducidas por esfuerzos de mejora de procesos software se evalúan a través de procesos informales y subjetivos basados en la percepción de los empleados y/o auditores, y no a través de procesos formales; lo que hace necesaria la medición, pues es la manera objetiva y estructurada de valorar el software, los procesos que son desarrollados para lograrlo y los procesos de SPI que implementan las empresas. Es por lo anterior, que el propósito esencial del Modelo Liviano de Medidas, es la investigación de las distintas metodologías de creación y definición de medidas, de las diversas medidas existentes y el uso de las mismas, la relación existente entre las

medidas de los proyectos de desarrollo de software y los proyectos de mejora, y la adaptación de éstas a las prácticas de las MiPyMES, además de la validación teórica y práctica de las mismas, para que de esta manera aporte a la realización de un proceso de mejora efectivo de procesos dentro de la organización.

Es en este aspecto en el cuál el Modelo Liviano de Medidas contribuye a que las organizaciones del país, que implementen un modelo de mejora de procesos de software, midan el grado de efectividad que éste trae a la organización y si está aportando al logro de las metas y objetivos de la misma; también contribuye a desarrollar una cultura de mejora continua, lo cual podrá verse reflejado en la realización de software confiable, con tiempo y precios moderados, permitiendo mejorar de una u otra manera la economía del país ya que los productos podrán ser competitivos. Además, este modelo de medida ofrece características que benefician a la micro, pequeña y mediana empresa, tales como: la facilidad de la aplicación, la facilidad para entenderlo y su bajo costo de implementación, pues se lleva a cabo con pocos recursos y en poco tiempo, debido a que este es un modelo basado en normas internacionales pero adaptado a nuestra realidad, lo que lo hace liviano y aplicable a las empresas del país.

La pregunta de investigación que busca resolver este trabajo es: ***¿Cómo ayudar a las empresas de desarrollo de software Colombianas a determinar si el proceso SPI 1 que implementan, está siendo eficaz en relación con los objetivos y metas establecidas al implantarlo, a través del uso de medidas que permitan evaluar el proceso de mejora de sus procesos de desarrollo?***

De conformidad con el título del presente trabajo y con la pregunta anterior el objetivo general de este trabajo queda definido como: ***Construir un modelo liviano de medidas, para evaluar el proceso de mejora de una organización de desarrollo de software, ajustado a las características y necesidades de la industria de software nacional.***

Este documento está estructurado en ocho capítulos descritos a continuación; se registran algunas modificaciones en cuanto a la organización del documento final debido a ajustes que se realizaron durante el desarrollo del trabajo.

En la propuesta inicial el resumen se incluía como el primer capítulo de la monografía, ahora el resumen, se presenta al inicio del documento y los capítulos se empiezan a enumerar a partir de la introducción, tal como lo establece la norma técnica colombiana Icontec.

Los capítulos cuatro y cinco presentados en este documento se habían planteado inicialmente como un solo capítulo, en el cuál se incluía la validación teórica y práctica del **MLM – PDS**; debido a que la validación teórica de las medidas mediante técnicas formales ya se había realizado por estudios del SEI (Software Engineering Institute), lo que se hizo fue una validación de las medidas mediante la técnica de control estadístico de procesos, esto, para satisfacer la validación teórica de las medidas y el modelo en su conjunto; esta validación se haya registrada en el capítulo cuatro. En el capítulo cinco se presenta la validación experimental; la cuál se decidió separar de capítulo debido a su extensión ya que inicialmente se aplicaría el **MLM –PDS** en una

empresa piloto, pero durante el proyecto se pudo aplicar satisfactoriamente en dos empresas SIDEM Ltda. Y UNISOFT COLOMBIA Ltda., por lo cual se consideró importante mostrar resultados de los dos casos de estudio llevados a cabo en un capítulo adicional.

Con respecto a los otros capítulos todos se realizaron conforme a la propuesta inicial registrada en el anteproyecto. Los contenidos del documento son:

Capítulo 1: Introducción. Ofrece una visión general del proyecto, cómo y porqué se concibió la idea de realizar este modelo de medida para la mejora de procesos software, los objetivos del trabajo y específicamente el porqué de esta investigación.

Capítulo 2: Marco Teórico. Contiene las bases teóricas bajo las cuales se desarrolla el proyecto, información fundamental de la calidad de software, la importancia del proceso en la calidad del producto, la mejora de procesos de software, las ventajas que ofrece un modelo de mejora de procesos de software, y la importancia de la medición de los procesos. De igual manera se muestran desarrollos relacionados con el fin de hacer las comparaciones necesarias con relación a este trabajo.

Capítulo 3: Descripción del Modelo Liviano de Medidas para la Mejora de Procesos de Desarrollo Software. Contiene la descripción de cada una de las fases de desarrollo del proyecto, el inicio la definición de objetivos, hipótesis, preguntas, la construcción del modelo y la justificación teórica. De igual forma se describe la aplicación de la metodología utilizada para la construcción de este modelo.

Capítulo 4: Presentación de Resultados de la aplicación del Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software MLM – PDS. Contiene la presentación de los resultados obtenidos de las diferentes mediciones a los proyectos de Mejora de Procesos en las empresas piloto y haciendo uso del MLM – PDS y mediante gráficas explica los resultados de la mejora. Además se presenta un ejemplo del método de Control estadístico utilizado para validar las medidas y ver resultados de la mejora.

Capítulo 5: Validación del Modelo Liviano de Medidas para la Mejora de Procesos de Desarrollo Software en dos casos de estudio Real. Refiere la experiencia y el proceso de validación experimental realizada en dos empresas piloto, SIDEM Ltda. y UNISOFT Colombia Ltda.

Capítulo 6: Recomendaciones, Conclusiones y Perspectivas. Contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas al finalizar el proyecto. Además de la retroalimentación obtenida luego de la aplicación del modelo en la empresa piloto de desarrollo de software. Las perspectivas que se pueden sugerir para futuros trabajos con un área de aplicación igual o similar a la realizada en el actual trabajo de grado.

Capítulo 7: Referencias Bibliográficas. Indica la bibliografía utilizada para el desarrollo del trabajo de investigación.

Capítulo 8: Anexos. Contiene la información adicional que ayude a precisar el contenido del documento final.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Calidad de Software.

La calidad de software hoy en día es uno de los principales objetivos de las empresas, ya que es un factor crítico de éxito en un mercado competitivo, pero esta abarca todo un proceso, y está determinada por propiedades y características de un producto o servicio [16]. Calidad es un concepto amplio, complejo, multifacético, subjetivo y muchas veces ambiguo porque puede describirse desde diferentes perspectivas por esto se debe tener claro que el concepto de calidad en los productos de software debe formularse de forma particular [16]. Primero es conveniente indicar sus características diferenciadoras frente a otros productos: el software se desarrolla, no se fabrica en el sentido clásico; es inmaterial y no se deteriora con el uso o el tiempo (aunque tiene un ciclo de vida); su fiabilidad es difícil de comprobar; la mayoría del software se construye a medida y necesita de actualización permanente; es dependiente del entorno donde se ejecuta.

Es por esto que no es suficiente decir que la calidad de software es importante, es necesario (1) definir explícitamente lo que significa << calidad de software >>; (2) crear un conjunto de actividades que ayuden a garantizar que todo producto de la ingeniería de software presenta alta calidad; (3) llevar a cabo actividades de garantía de calidad en cada proyecto de software y (4) utilizar métricas para desarrollar estrategias que mejoren el proceso software y, como consecuencia, mejoren la calidad del producto final [17].

La ingeniería del software se enfrenta con muchos obstáculos para poder dominar la calidad en comparación con otras ciencias. Para enumerar solo algunos de estos:

- **No existe una definición estándar y universal de qué es calidad.** En realidad algunos organismos e instituciones como ISO², IEEE³, SEI⁴, ESI⁵, entre otros, brindan definiciones aceptables pero no son homogéneas, dando como resultado que cada profesional utilice su propia versión de calidad [16].
- **La calidad debe satisfacer a una amplia gama de entes relacionados pero no mutuamente excluyentes:** Clientes, *procesos*, organismos, productos [p.ej., documentos, aplicaciones, mediciones...].

² International Organization for Standardization.

³ Institute of Electrical and Electronics Engineers.

⁴ Software Engineering Institute.

⁵ European Software Institute.

- **Crear cultura de calidad.** Esto implica un compromiso constante, tedioso, costoso y a largo plazo por parte de la organización y las personas que lo componen.

2.1.1 ¿Qué es calidad?

El término calidad es ambiguamente definido y pocas veces comprendido, esto se debe a:

- La calidad no es una sola idea, es un concepto multidimensional;
- La dimensión de calidad incluye el interés de la entidad, el punto de vista de la entidad, y los atributos de la entidad;
- Por cada concepto existen diferentes niveles de abstracción;
- Varía para cada persona en particular.

Como ocurre con el concepto general de la calidad, no existe una única definición de calidad del software, según la IEEE:

- La calidad debe ser **mensurable**;
- La calidad debe ser **predecible**;

Los **factores de calidad** a tener en cuenta en el desarrollo de un producto deben ser:

- Ausencia de defectos;
- Satisfacción del usuario;
- Conformidad con los requerimientos.

ISO define el concepto de calidad como: "Conjunto de características de una entidad (producto o servicio) que le confieren su aptitud para satisfacer necesidades expresadas e implícitas"⁶.

En la norma UNE-EN ISO 9000:2002 se ofrece una definición de calidad bastante genérica y de aplicación en distintos campos: "Calidad: Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos" [18].

La ASQ⁷, define la calidad como: "La totalidad de funciones y características de un producto que les permite satisfacer una determinada necesidad."

También surgen conceptos de muchos especialistas que definen la calidad así:

- W. Edwards Deming indica que: "El control de Calidad no significa alcanzar la perfección. Significa conseguir una eficiente producción con la calidad que espera obtener en el mercado".
- Joseph M. Juran define la calidad como: "Adaptabilidad de uso".
- Philip Crosby la define como: "Conformidad con los requerimientos".

⁶ Definición de calidad que propone ISO (8402).

⁷ American Society For Quality.

- Armand V. Feigenbaum define la calidad como: "La composición total de las características de los productos y servicios de marketing, ingeniería, fabricación y mantenimiento, a través de los cuales los productos y los servicios cumplirán las expectativas de los clientes".
- R. S. Presuman define la calidad como: "Concordancia con los requisitos funcionales y de rendimiento explícitamente establecidos con los estándares de desarrollo explícitamente documentados y con las características implícitas que se espera de todo software desarrollado profesionalmente".

Existen diversas características que debe tener el software de alta calidad, según la ISO-9126⁸, las características que se tienen en cuenta para medir la calidad de un producto de software son: portabilidad, eficiencia, confiabilidad, usabilidad, funcionabilidad y mantenibilidad.

Hay que tener en cuenta que estos factores no siempre se adaptan a las características de todas las empresas, es por eso que algunas empresas definen sus propios factores/atributos de calidad de software, [p.ej., en el caso de IBM se enfoca hacia la: Capacidad (funcionalidad), usabilidad, performance⁹, confiabilidad, instalación, mantenibilidad, documentación/ información, servicio y totalidad.

Por todo lo anterior, para asegurar la calidad del software, hay que tener en cuenta que se debe establecer como primera medida un sistema de calidad, el cual integre la gestión de la calidad, la planificación de la calidad y la definición de políticas de calidad; también se debe hacer uso de técnicas de verificación y validación del software, como revisión, inspección y pruebas de los productos de software; gestión de configuración del software; uso de normas y estándares de calidad; evaluación y *mejora de los procesos de software* [19].

2.1.2 El proceso de Software como factor determinante de la calidad de los productos

El desarrollo de productos de software tiene tres grandes componentes:

- **Personal:** incluye el conocimiento y experiencia del capital humano que crea y sostiene la evolución del producto. Sin el personal competente y experimentado, es imposible crear productos competitivos que satisfagan las necesidades de los clientes.
- **Tecnología:** incluye la posesión de las tecnologías que sustentan el producto y las herramientas utilizadas en su desarrollo.

⁸ Factores de Calidad propuestos por la norma ISO-9126.

⁹ Performance de un proceso de software, representa los resultados actuales logrados, habiendo seguido un proceso de software.

- **Proceso:** es el saber cómo utilizar el conocimiento del personal y la tecnología en forma eficiente para lograr productos de calidad que satisfagan las necesidades de los clientes, producidos dentro de costos y plazos aceptables [20].

El termino proceso se define como un conjunto de tareas, que adecuadamente ejecutadas producen el resultado esperado; para este propósito un proceso de software es definido como un: "Conjunto de actividades, métodos, prácticas y transformaciones que las personas usan para desarrollar y mantener software y sus productos asociados [p.ej., planes, especificaciones, diseños y pruebas]"¹⁰ [19].

Para producir y mantener software de alta calidad, a bajo costo y en forma efectiva, son fundamentales los procesos utilizados en su desarrollo y manutención, lo que motiva un cambio de enfoque para mejorar la calidad, desde una visión centrada en los productos hacia otra centrada en los procesos. Estos procesos, junto a las personas y la tecnología, forman la base sobre la cual se sustenta el desarrollo exitoso de software, por lo que contribuir hacia su definición y apoyo con herramientas de implantación específicas para cada tarea en ellos definida es un propósito fundamental.

La Ingeniería de Software ha introducido últimamente la premisa:

"La calidad del producto depende de la calidad del proceso que se sigue para obtenerlo"¹¹

Dentro de este marco de referencia, se define como una organización madura aquella que posee la potencialidad para desarrollar y administrar sus proyectos de software en forma consistente y proactiva, así como también la capacidad para mantener y mejorar sus procesos. Una organización madura se caracteriza por mantener procesos consistentes a través de sus distintos proyectos [21].

En la actualidad, específicamente para la industria desarrolladora de software colombiana, no se cuentan con procesos de desarrollo de software definidos y acordes a su realidad particular. Cada vez más las organizaciones están tomando conciencia de que la calidad de sus productos dependerá de qué tan bien se encuentran definidos los procesos involucrados en el desarrollo de software, pero se tropiezan con el problema de no saber cómo lograrlo; en la actualidad existe una amplia gama de modelos y estándares de referencia para mejorar la calidad de los productos de desarrollo de software, entre los cuales podemos mencionar SW-CMM¹², CMMI¹³, TSP¹⁴, PSP¹⁵, ISO

¹⁰ Definición de proceso de software que hace Piattini y Daryanani, 1.995.

¹¹ Definición que hace A. Fuggetta en la Conferencia Internacional de Ingeniería de Software (ICSE), 2000.

¹² Capability Maturity Model.

¹³ Capability Maturity Model Integration

¹⁴ Team Software Process.

¹⁵ Personal Software Process.

9000:2000, ISO/IEC 12207, PMBOK¹⁶ y SWEBOK¹⁷ [45], además de algunos modelos de mejora tales como IDEAL (Modelo de mejora su sigla indica sus fases: Iniciación, Diagnóstico, Establecimiento, Ejecución y Aprendizaje), PDCA [44], el Framework IMPACT y el proceso de mejora AGILE SPI – Process.

La importancia de tener procesos definidos radica en que proveen un ambiente de disciplina dentro de la organización para trabajar de manera más formal, hacen predecibles los resultados en cuanto a tiempos de entrega y recursos necesarios; ofrecen también estabilidad a la organización debido a que los roles y responsabilidades del personal involucrado están definidos para soportar el proceso, la gestión de la organización está orientada al desempeño de sus procesos, las habilidades y planes de entrenamiento están orientados a incrementar la experiencia para ejecutar las actividades del proceso y la selección de herramientas e infraestructura tecnológica se hace pensada para automatizar monitorear y soportar las actividades del proceso.

La disciplina que ofrece un ambiente de procesos permite alinear los esfuerzos y las actividades de los miembros del equipo para lograr un objetivo común, es decir, las actividades individuales, están alineadas con los objetivos que persigue el proceso. Debido a la gran importancia que se le ha dado hoy en día a los procesos, existen diferentes modelos de calidad basados en el proceso entre los que cabe mencionar:

- ISO 9001 [22].
- CMMI [22].
- ISO/IEC 15504-2 (Parte 2): 1998 [23], que es compatible con la norma ISO/IEC 12207: 1995/Adm 1. 2002(E) [24][25].
- Los estándares ISO/IEC 15504 (1.998), parte 2 e ISO/IEC 15504 (2.003), parte 4, referentes al modelo de capacidades del proceso, estos se explicarán en el ítem relacionado con la importancia de la medición del Proceso de Software.
- MOPROSOFT Modelo de Referencia de Procesos de COMPETISOFT que es el antecedente que se tiene a nivel Iberoamericano [59].

➤ **ISO 9001 [22]**

ISO 9001 es un conjunto de estándares internacionales para sistemas de calidad. Diseñado para la gestión y aseguramiento de la calidad, especifica los requisitos básicos para el desarrollo, producción, instalación y servicio a nivel de sistema y a nivel de producto.

Estructura del estándar

La nueva familia de estándares es la siguiente:

- ISO 9000, Fundamentos y vocabulario.
- ISO 9001, Requisitos para aseguramiento de la calidad.

¹⁶ Project Management Body of Knowledge.

¹⁷ Software Engineering Body of Knowledge.

- ISO 9004, Directrices para la mejora del rendimiento.
- ISO 9011, Directrices para la auditoria de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental.

ISO 9000 e ISO 9004 se han desarrollado como un par coherente de normas, complementándose. Mientras ISO 9001 se centra en la eficacia del sistema de gestión de la calidad para dar cumplimiento a los requisitos del cliente, ISO 9004 se recomienda para organizaciones que persiguen la mejora continua, sin afán certificador. El estándar se basa en un conjunto de Principios de Gestión de la Calidad:

“Enfoque al cliente, Liderazgo, Implicación de todo el personal, Enfoque a procesos, Enfoque del sistema hacia la gestión, Mejora continua, Enfoque objetivo hacia la toma de decisiones y Relaciones mutuamente beneficiosas con los proveedores.”

Las cinco secciones en que se divide ISO 9001:2000 son:

1. QMS. Sistema de Gestión de la Calidad (Requisitos generales y Requisitos de la documentación).
2. Responsabilidad de la Gestión (Compromiso de la dirección, Enfoque al cliente, Política de la calidad, Planificación,...).
3. Gestión de los Recursos (Provisión de recursos, Recursos humanos, Infraestructura, Ambiente de trabajo).
4. Realización del Producto (Planificación de la realización del producto, Procesos relacionados con los clientes, Diseño y desarrollo, Compras, Prestación del servicio, etc.).
5. Medición, Análisis y Mejora (Generalidades, Supervisión y Medición, Control de servicio no-conforme, Análisis de datos, Mejora).

➤ **CMMI [22]**

El modelo CMMI constituye un marco de referencia de la capacidad de las organizaciones de desarrollo de software en el desempeño de sus diferentes procesos, proporcionando una base para la evaluación de la madurez de las mismas y una guía para implementar una estrategia para la mejora continua de los mismos.

Estructura del estándar

CMMI presenta dos representaciones del modelo: continua (capacidad de cada área de proceso) y/o por etapas (madurez organizacional).

En la representación por etapas, se da un mapa predefinido, dividido en etapas (los niveles de madurez), para la mejora organizacional basada en procesos probados, agrupados y ordenados, y sus relaciones asociadas. Cada nivel de madurez tiene un conjunto de áreas de proceso que indican dónde una organización debería

enfocar la mejora de su proceso. Cada área de proceso se describe en términos de prácticas que contribuyen a satisfacer sus objetivos. Las prácticas describen las actividades que más contribuyen a la implementación eficiente de un área de proceso; se aumenta el 'nivel de madurez' cuando se satisfacen los objetivos de todas las áreas de proceso de un determinado nivel de madurez.

➤ **ISO/IEC 12207:1995/Adm 1:2002 [24]**

La norma establece un marco de referencia común para los procesos del ciclo de vida del software, con una terminología bien definida a la que puede hacer referencia la industria del software. Contiene procesos, actividades y tareas para aplicar durante la adquisición de un sistema que contiene software, un producto software puro o un servicio software y durante el suministro, desarrollo, operación y mantenimiento de productos software. El software incluye la parte software del firmware.

2.1.3 La importancia de la medición del Proceso de Software.

Los diferentes estándares, modelos y métodos de evaluación proporcionan la guía necesaria para que una organización software conozca los requisitos que debe satisfacer para disponer de procesos software eficiente y efectivo que permitan obtener productos software de calidad [26]. En la medida en que una organización software satisface dichos requisitos va obteniendo un mejor nivel de desempeño o calidad en sus procesos, para lo cual es necesario conocer los aspectos a mejorar y llevar a cabo adecuadamente dichas mejoras. Sin embargo, estos modelos proporcionan el marco de referencia, es decir, indican qué tiene que hacer una organización para estar en cada nivel de desempeño de sus procesos pero no indican con métodos concretos cómo llegar a dichos niveles de madurez para que una organización con un nivel de madurez en el que tiene definidos sus procesos, pueda disponer de un soporte sistemático y efectivo para llevar a cabo su evaluación, y en última instancia su mejora continua, es fundamental establecer la base cuantitativa que permita conocer los puntos fuertes y débiles de los procesos software y la medición de dichos procesos se convierte en un aspecto fundamental [26].

Antes de poder aplicar planes de mejora en una organización ó determinar el estado actual de los procesos de la misma, es necesario partir de una base cuantitativa que nos permita determinar de una forma objetiva los puntos fuertes y débiles de los procesos. Las métricas software constituyen la base necesaria para poder llevar a cabo un proceso de evaluación y consecuente mejora de los procesos software. Por ello la medición es un aspecto que se tiene muy en cuenta en los modelos de evaluación como en ISO/IEC 15504 en el que se define un proceso de la medición, o como CMMI en el que se incluye un área clave de proceso en el nivel dos de madurez denominada "Medición y Análisis". Como soporte al proceso de medición se pueden destacar diversos marcos de trabajo como GQM (*Goal Question Metric*) o PSM (*Practical Software Measurement*) (McGarry *et al.*, 2002), así como estándares entre los que destacan ISO 15939 (ISO/IEC, 2002) e IEEE Std 1061-1992 (IEEE, 1992). El objetivo

de estos estándares y marcos de trabajo es proporcionar la referencia necesaria para poder llevar a cabo el proceso de medición de una forma efectiva y sistemática, partiendo de la base de que la medición es un proceso que debe ser llevado a cabo en base a una serie de objetivos [26].

Medir el estado actual de los procesos de desarrollo (ya sea algunos proyectos o toda la organización), permite conocer las fortalezas, riesgos y debilidades de la organización. Los resultados del diagnóstico harán posible la generación de un plan de mejoramiento adecuado. Midiendo y localizando los problemas reales permitirá asignar los recursos a aquellas áreas de mejoras más urgentes, o donde la inversión será más efectiva.

2.2 Modelos de Evaluación y Mejora

2.2.1. Evaluación y Mejora de los Procesos Software

La evaluación y mejora de los procesos software es el proceso mediante el cual se puede juzgar y decidir sobre la calidad de los procesos que están sujetos a análisis [26], con el objetivo de poder establecer una estrategia para su mejora. Como resultado de los esfuerzos de la comunidad científica, se han propuesto toda una serie de modelos y estándares para promover la aplicación de este proceso en las organizaciones. Entre estos modelos y estándares, cabe destacar CMM [27], CMMI [28], y sus métodos de evaluación y mejora asociados; ISO 15504: ISO/IEC 1998a [29]; ISO/IEC 1998b [30]; ISO/IEC 1998c [31] y la familia de normas ISO 9000:2000 [32], el modelo de mejora IDEAL¹⁸, PDCA¹⁹, el framework IMPACT²⁰, el MPS BR²¹, y el proceso de mejora Agile SPI – Process que describe un proceso de mejoramiento de procesos de software en 5 fases; Instalación, Diagnóstico, Formulación, Mejora y Revisión del programa, adoptado por el proyecto COMPETISOFT²² como framework de mejora de procesos con el nombre de PmCOMPETISOFT.

La aparición en el mercado de estos modelos de procesos (centrados en la mejora) y la aplicación de la normativa ISO 9000 están ofreciendo a las empresas y departamentos de desarrollo informático, la posibilidad de adaptarse a una nueva forma de trabajo caracterizada principalmente por buscar la satisfacción de los clientes y disponer de una mejor visibilidad y control de la calidad de los procesos y de los productos finales. A continuación se presentan de forma resumida los diferentes modelos propuestos

¹⁸ IDEAL: (Initiating, Diagnosing, Establishing, Acting, Leveraging). Modelo de mejoramiento de Procesos de Software. Carnegie Mellon University.

¹⁹ PDCA: (Plan, Do, Check, Act). Modelo de mejoramiento de Procesos de Software.

²⁰ IMPACT: (Entender-Mejorar-Aplicar-Medir). Framework que propone un paradigma liviano para SPI

²¹ MPS BR: : Modelo de Procesos de Software Brasileiro

²² COMPETISOFT: Proyecto de Investigación: Mejora de Procesos para Fomentar la Competitividad de la Pequeña y Mediana Industria del Software de Iberoamérica.

para la mejora de calidad en las organizaciones y sus métodos de evaluación y mejora asociados.

2.2.2. La importancia de adoptar un modelo de mejora, evaluar y medir los resultados obtenidos

Los diferentes estándares, modelos y métodos de evaluación y mejora proporcionan la guía necesaria para que una organización software conozca los requisitos que debe satisfacer para disponer de procesos software eficientes y efectivos que permitan obtener productos software de calidad. En la medida en que una organización software satisface dichos requisitos va obteniendo un mayor nivel de desempeño o calidad en sus procesos, para lo cual es necesario conocer los aspectos a mejorar y llevar a cabo adecuadamente dichas mejoras [26].

Los modelos de mejora proporcionan el marco de referencia, es decir, indican qué tiene que hacer una organización para estar en cada nivel de desempeño de sus procesos pero no indican con métodos concretos cómo llegar a dichos niveles de madurez; para que una organización con un nivel de madurez en el que tiene definidos sus procesos, pueda disponer de un soporte sistemático y efectivo para llevar a cabo su evaluación, y en última instancia su mejora continua es fundamental establecer una base cuantitativa que permita conocer los puntos fuertes y débiles de los procesos software y la medición de dichos procesos se convierte en un aspecto fundamental.

Medir el estado actual de los procesos de desarrollo de la organización (ya sea algunos proyectos o toda la organización), permite conocer las fortalezas, riesgos y debilidades de los procesos de la misma. Los resultados del diagnóstico harán posible la generación de un plan de mejoramiento adecuado. Midiendo y localizando los problemas reales se permitirá a la organización, asignar los recursos a aquellas áreas de mejoras más urgentes, o donde la inversión será más efectiva.

La evaluación de los procesos de desarrollo permite a la empresa:

- **Identificar** los puntos fuertes y las debilidades para iniciar un programa de mejoramiento.
- **Constatar** el progreso alcanzado por las iniciativas de mejoramiento de procesos en curso (habitualmente iniciadas como producto de una evaluación anterior).
- **Demostrar** a una tercera parte (clientes, socios potenciales, corporación) la madurez de procesos de la organización (como medio para aumentar las posibilidades de nuevos negocios).
- **Verificar** la implementación de los procesos de desarrollo de software con respecto a un estándar de la industria, tal como el Modelo Integrado de Madurez de Capacidades (SW-CMMI) del SEI, el ISO 9001, el ISO 15504, u otro similar [33].

Los resultados de la Evaluación permiten obtener un perfil del nivel de capacidad de los procesos implantados y un nivel de madurez de capacidades de la organización evaluada, también permite obtener un perfil del nivel de capacidad de los procesos

implantados por un proveedor de desarrollo y mantenimiento de software (para esta evaluación el cliente elige los procesos a evaluar dependiendo del servicio a contratar). Es necesario hacer resaltar que uno de los usos de los resultados de la evaluación es determinar las oportunidades de mejora de los procesos a fin de optimizar los resultados de la organización que se dedica al desarrollo y mantenimiento de software procurando mejorar la productividad y la calidad de sus servicios y/o productos para aumentar la competitividad de la industria nacional.

2.2.3. Métodos de Evaluación basados en el modelo de Madurez de la Capacidad (CMM)

Desde la década de los 80 el Instituto de Ingeniería del Software de la Universidad de Carnegie Mellon se ha centrado en proporcionar la base necesaria para mejorar el desarrollo del software considerando a las tareas de desarrollo del software como una serie de procesos que se pueden definir, medir y controlar. Como resultado se han obtenido modelos de referencia de la capacidad de los procesos y modelos de evaluación de dicha capacidad.

CMM [27] es el modelo propuesto por el SEI como referencia para determinar la capacidad de los procesos software de una organización. CMM proporciona a las organizaciones de software el modelo de referencia necesario como soporte para el control de sus procesos de desarrollo y mantenimiento y para facilitar su evolución hacia una cultura de la Ingeniería del Software y de excelencia en la gestión. Es un modelo con la finalidad de:

- **Evaluar la madurez** de los procesos de desarrollo de software dentro de una organización.
- **Proponer un plan de mejora** de los procesos de desarrollo de software de acuerdo a una serie de niveles.

A la hora de establecer la madurez de los procesos de una organización en CMM se establecen cinco niveles de capacidad, que definen una escala ordinal para representar la evolución del proceso software desde un nivel inicial caótico (procesos *ad hoc* cuyos resultados no son predecibles) hasta un estado de mejora continua (maduro) [34]. [Ver Anexo 1: Evaluación basada en el modelo de Madurez de la Capacidad (CMM)]

Existen también modelos y métodos de Evaluación ampliamente utilizados, para mencionar algunos de ellos: SCAMPI²³, CBA-IPI²⁴, EvalProSoft que es el método de Evaluación de Procesos para la industria de software de Iberoamerica adoptado por el proyecto COMPETISOFT como su método de evaluación oficial y la adaptación de las normas ISO/IEC 12207:2002 e ISO/IEC 15504:2003 para la evaluación de la madurez de procesos software en países en desarrollo.

²³ Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement. SEI, 2001.

²⁴ CMM-Based Appraisal for Internal Process Improvement.

2.2.4. El estándar ISO/IEC 15504.

El estándar ISO/IEC 15504 (ISO/IEC, 1998a; ISO/IEC, 1998b; ISO/IEC, 1998c) es un estándar internacional para la evaluación y mejora de procesos software. En este estándar se desarrolla un conjunto de medidas de capacidad estructuradas con el objetivo de evaluar el proceso de ciclo de vida del software. El estándar está compuesto por nueve partes cuyo contenido se resume en la Tabla 1:

Partes de la norma ISO/IEC 15504	Contenido
1. Conceptos y Guía Introductoria	Presenta la norma, sus objetivos, composición e incluye una breve introducción
2. Modelo de Referencia para Procesos y Capacidad de Procesos	Modelo de referencia para procesos y la capacidad de dichos procesos. En esta parte se definen una serie de procesos en términos de su propósito y resultados, asigna una serie de atributos a los procesos para establecer unos niveles de capacidad. Es como una plantilla. Para evaluar un determinado proceso hay que hacer un modelo que se ajuste a ese proceso pero tiene que estar acorde con esta plantilla
3. Realización de la Evaluación	Requisitos necesarios para realizar la evaluación de un proceso software así como los pasos a seguir en dicho proceso
4. Guía para la Realización de la Evaluación	Guía que describe cómo realizar la evaluación. Para que una evaluación sea útil debe ser repetible, segura y consistente, es decir, una evaluación debe poder repetirse tantas veces como sea necesario de manera que los resultados obtenidos sean los mismos para un mismo proceso y permita la comparación entre dos procesos distintos.
5. Modelo de Valoración y Directrices	Ejemplo de modelo para realizar la valoración de procesos conforme se describe en la parte 2.
6. Guía para la Cualificación de los Asesores	Cualidades y formación que se deben tener para realizar una adecuada valoración de los procesos.
7. Guía para la Mejora de Procesos	Mejora de los procesos a partir de los resultados de una evaluación conforme a esta norma. La norma no sólo es válida para las empresas que desean valorar sus posibles proveedores sino que también es útil para los proveedores que pueden evaluar sus procesos propios y mejorarlos.
8. Guía para determinar la Capacidad de los Proveedores	Proporciona la guía sobre cómo utilizar la evaluación de procesos para determinar la capacidad de los mismos.
9. Vocabulario	Define los términos utilizados en el estándar.

Tabla 1. Contenido de ISO/IEC 15504

Tanto ISO 15504 como CMM definen una serie de niveles de madurez que pueden alcanzar las organizaciones o los procesos relacionados con el software. En la parte 2

de este modelo se describen los resultados de una evaluación de procesos teniendo en cuenta dos dimensiones:

- **Dimensión del proceso:** En la que se definen cinco categorías de procesos que se corresponden con las categorías de ISO 12207.
- **Dimensión de la capacidad:** formada por seis niveles de capacidad y nueve atributos de proceso. Cada nivel de capacidad está formado por uno o varios atributos que proporcionan una mejora importante en la capacidad de realizar un proceso.

De acuerdo a ISO 15504 el proceso de evaluación puede comenzar ante una necesidad de mejora de procesos o la necesidad de determinar la capacidad de los mismos. Para poder llevar a cabo la evaluación es necesario partir de un modelo de referencia, que es el que se describe en la parte 2 de la norma, y se necesitan recoger información de entrada a la evaluación (objetivos, restricciones, alcance) para su planificación y los indicadores del proceso. Las salidas de la evaluación permiten que una organización conozca de forma cuantitativa los puntos fuertes y los puntos débiles o riesgos de sus procesos software que pueden ser usados como entrada para las acciones de mejora o simplemente para conocer su capacidad. [Para una descripción más completa de este estándar Ver Anexo 2: Estándar ISO/IEC 15504].

2.2.5. El modelo CMMI .

El éxito y amplia aceptación de CMM propició la aparición de modelos similares incluso en otras disciplinas además del software. Esta proliferación de modelos ha facilitado la aparición de conflictos en los objetivos y técnicas de la mejora de procesos, debido al considerable incremento en el entrenamiento requerido, y a la confusión por parte de los que los aplican en cuál de los modelos usar según sus necesidades específicas. CMMI constituye un sólo modelo que cubre múltiples disciplinas y se creó con el objetivo de eliminar esas desventajas.

El proyecto CMMI persigue objetivos tanto a corto como a largo plazo. Los objetivos iniciales consistían en integrar tres modelos de mejora de procesos específicos: software, ingeniería de sistemas y desarrollo de procesos y productos integrados. CMMI-SE/SW especifica el modelo CMMI que contiene las disciplinas de ingeniería de sistemas y software. CMMI-SE/SW/IPPD indica el modelo que añade material para la integración de procesos y desarrollos de procesos en CMMI-SE/SW. Esta integración fue propuesta para reducir el coste de la mejora de procesos basados en modelo e implementados mediante varias disciplinas de la siguiente manera:

- Eliminando inconsistencias
- Reduciendo duplicaciones.
- Incrementando la claridad y comprensión
- Proporcionando terminología común
- Proporcionando estilos consistentes
- Estableciendo reglas de construcción uniformes
- Manteniendo componentes comunes

- Asegurando la consistencia con ISO 15504
- Siendo susceptible a la inferencia de esfuerzos legales

Los objetivos a largo plazo consisten en establecer la base necesaria para la posterior inclusión de otras disciplinas (tales como adquisición y seguridad). Para facilitar ambos modelos de integración actuales y futuros, el equipo de desarrollo de CMMI creó un marco de trabajo automatizado y extensible y definió reglas para la posible inclusión de más disciplinas dentro de este marco de trabajo.

Los modelos en los que se basa CMMI son los que aparecen en la Tabla 2:

Disciplina del Modelo	Modelo Fuente	Descripción Modelo Fuente
Software	El CMM para software (SW-CMM)	Modelo que describe los principios y prácticas fundamentales de la madurez de procesos software. El CMM está organizado para ayudar a las organizaciones de software a mejorar mediante una trayectoria evolutiva, creciendo con fines específicos, desde un ambiente caótico hacia unos maduros y disciplinados procesos de software.
Ingeniería de Sistemas	Modelo de Capacidad de Ingeniería de Sistemas (EIA/IS 731)	Integración de todas las disciplinas de sistemas para que conozcan las necesidades técnicas y de negocio de la forma más efectiva.
Proceso integrado de desarrollo de productos	Desarrollo integrado de producto CMM (IPD CMM)	Enfoque sistemático para el desarrollo del producto que incrementa la satisfacción del cliente mediante una colaboración oportuna de las disciplinas necesarias a lo largo del ciclo de vida del producto.

Tabla 2. Modelos de CMMI.

Un concepto fundamental de todos los modelos CMMI es el área de procesos. No todo lo relacionado con procesos y mejora de procesos está incluido en un modelo de mejora de procesos. Como sus predecesores, CMMI selecciona sólo los aspectos más importantes de la mejora de procesos y entonces agrupa estos aspectos dentro de "áreas". [Para una descripción detallada de este modelo ver Anexo 3: Modelo CMMI (Capability Maturity Model Integration)].

2.2.6. Normas ISO 9000:2000.

Las normas ISO 9000 son un conjunto de normas y directrices internacionales para la gestión de la calidad que, desde su publicación inicial en 1987, han obtenido una importante reputación global como base para el establecimiento de sistemas de gestión de la calidad. En la Tabla 3 se resumen los conceptos básicos de las normas de la familia ISO 9000.

NORMAS ISO 9000	PROPÓSITO
ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.	Establece un punto de partida para comprender las normas y define los términos fundamentales utilizados en la familia de normas ISO 9000, que se necesitan para evitar malentendidos en su utilización.
ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.	Esta es la norma de requisitos que se emplea para cumplir eficazmente los requisitos del cliente y los reglamentarios aplicables, para así conseguir la satisfacción del cliente.
ISO 9004: Sistemas de gestión de la calidad. Directrices para la mejora del desempeño.	Esta norma proporciona ayuda para la mejora del sistema de gestión de la calidad para beneficiar a todas las partes interesadas a través del mantenimiento de la satisfacción del cliente. La Norma ISO 9004 abarca tanto la eficiencia del sistema de gestión de la calidad como su eficacia.

Tabla 3. Normas de la familia ISO 9000.

Las actuales normas UNE-EN ISO 9001, 9002 y 9003:1994 se han integrado en una única norma UNE-EN ISO 9001:2000. Las normas UNE-EN ISO 9001:2000 y UNE-EN ISO 9004:2000 se han desarrollado como un "par coherente" de normas. Mientras la norma UNE-EN ISO 9001:2000 se orienta a los requisitos del sistema de gestión de la calidad de una organización para demostrar su capacidad para satisfacer las necesidades de los clientes, la norma UNE-EN ISO 9004:2000 va más lejos, proporcionando recomendaciones para mejorar el desempeño de las organizaciones, siendo esta parte la que se describirá más en detalle en este apartado.

En esta nueva edición de las normas ISO 9000, se han identificado ocho principios de gestión de la calidad que pueden ser utilizados por la alta dirección con el fin de conducir a la organización hacia una mejora en el desempeño. [Ver Anexo 4: Normas ISO 9000:2000].

2.2.7. Framework de Mejora IMPACT.

IMPACT es un framework que propone un paradigma liviano para SPI, el cual consta de los siguientes estados: Entender-Mejorar-Aplicar-Medir, los cuales pueden ser aplicados incrementalmente a lo largo de varios proyectos (Ver Figura 2). Por otra parte, al implementar iteraciones sucesivas, las metas de mejoramiento serán alcanzadas rápidamente (usualmente dentro de unos pocos meses) y son factibles de medirse a través de los proyectos en los cuales el enfoque de mejoramiento ha sido aplicado. Este framework diferencia entre el nivel de proyecto y el nivel de proceso. En el nivel de proyecto, muchos proyectos se desarrollan de acuerdo a buenas prácticas de gestión de proyectos [p.ej., Plan-Do-Check-Act (Planear-Hacer-Chequear-Actuar)].

En el nivel de proceso, la experiencia y el entendimiento de muchos proyectos se usan para entender y mejorar el modelo de procesos genérico, el cual es usado después para guiar proyectos futuros, este es el ciclo que se llama el ciclo del proceso. Estos ciclos interactúan muy de cerca – el ciclo de proceso conduce la ejecución de los proyectos y los proyectos conducen las mejoras para el proceso [35].

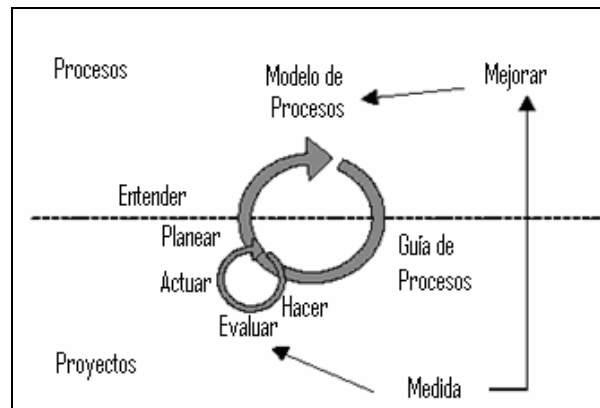


Figura 2. Framework IMPACT.

2.2.8. Proceso de Mejora: Agile SPI – Process

El proceso Agile SPI – Process es una guía de mejora procesos de software, desarrollado con la motivación de crear un proceso adaptado a las características de PyMES. Esta guía sirve para Gestionar y Administrar (instalar, diagnosticar, formular, mejorar y revisar) un proyecto de mejora de procesos de software en cualquier empresa, adaptando las mejores practicas propuestas por el modelo IDEAL [36].

El proceso Agile SPI – Process es un mapa o guía para gestionar y administrar un programa de mejora, fácil y libre de aplicar según las necesidades empresariales de cualquier organización, teniendo en cuenta que en la realidad organizaciones como las PyMES, progresan hacia sus metas, objetivos y necesidades y la mejora en sus procesos y el cambio de la organizaciones (madurez) es una necesidad que implica la evolución de sus procesos, de la gente y de la infraestructura con la que cuentan [37].

Agile SPI - Process describe un proceso de mejoramiento de procesos de software en 5 fases; (1) Instalación, (2) Diagnóstico, (3) Formulación, (4) Mejora y (5) Revisión del Programa, a continuación se explica de manera resumida en que consiste cada una de ellas:

- (1) Instalación del Programa:** Esta es la fase de partida para el proceso Agile SPI - Process. En esta fase se crea una propuesta de mejora basada en las necesidades del negocio, la cual ayudará a guiar a la organización a través de cada una de las fases siguientes, esta propuesta debe ser aprobada por la gerencia para garantizar así la asignación de los recursos necesarios para el proyecto de mejora. Durante esta fase también se definen los objetivos de mejora generales, los cuales son establecidos desde las necesidades de la empresa. Agile SPI - Process también provee una infraestructura de gestión, la cual describe la manera en la cual se gestiona y organizan las personas comprometidas dentro del esfuerzo de mejora, esta infraestructura organiza el esfuerzo teniendo en cuenta

un equipo de gestión (EG), un equipo de tecnología de procesos (ETP) y equipos de mejora (EM); estos han sido influenciados por la infraestructura propuesta por IDEAL [37], complementándola con la creación de grupos efectivos propuestos por la metodología TSP (Team Software Process) [38], adaptada por Agile SPI – Process como TSPI (Team Software Process Improvement).

- (2) **Diagnóstico:** En esta fase ya se ha iniciado un programa hacia la mejora de los procesos y el trabajo que aquí se realiza es fundamental para la realización de las fases siguientes. Se realizan actividades de valoración para saber cuál es el estado general de los procesos de la empresa, además de un análisis de los resultados que permitan establecer la prioridad de los casos de mejora, permitiendo así crear unos de los productos de trabajo principales de esta fase conocido como guía o plan general de mejora.
- (3) **Formulación:** En ésta fase se toman los casos de mejora más prioritarios a mejorar según los resultados arrojados por la valoración hecha en la fase anterior; con base en los resultados se realiza la planificación de la(s) iteración(es) de mejora, esto con el fin de realizar una medida del esfuerzo que sirva de base para la estimación del esfuerzo, costo y tiempo que tomarán para llevar a cabo las demás iteraciones de mejora.
- (4) **Mejora:** En la fase de Mejora de Agile SPI – Process, se gestiona, todo el esfuerzo de los casos de mejora en base a la estimación hecha en el plan de ejecución de mejora creado en la fase anterior y por consiguiente se desarrollan las planificaciones correspondientes a las diferentes iteraciones que pueden resultar con cada una de las áreas de proceso a mejorar o a crear.
- (5) **Revisión del Programa:** En esta fase se hace una retroalimentación (feedback) antes de volver a comenzar la fase de inicio. En esta fase todas las lecciones aprendidas y las métricas desarrolladas para medir el cumplimiento de los objetivos sirven como base de conocimiento o fuente de información para las personas involucradas en el siguiente ciclo de mejora. Con toda la información recolectada se debe evaluar el trabajo realizado y se deben corregir o ajustar todos los elementos relacionados con la ejecución de un programa SPI, como la infraestructura establecida, los métodos utilizados, los canales de comunicación y si las soluciones a los problemas identificados fueron las adecuadas.

2.2.9. Modelo de mejora IDEAL

Es un modelo para un programa SPI. Consta de cinco fases que le dan el nombre: (I) Iniciación, (D) Diagnóstico, (E) Establecimiento, (A) Ejecución (Acting) y (L) Aprendizaje (Learning). Estas fases proveen un ciclo infinito a través de los pasos necesarios para un SPI. El tiempo para cada ciclo y cada fase depende de la organización. Las fases o partes de estas pueden ser llevadas en paralelo dependiendo de la infraestructura organizacional y de los equipos de trabajo dentro del programa [36]. Es importante notar que la infraestructura necesaria para un programa SPI juega

un papel importante para alcanzar el éxito del proyecto. Entender los compromisos, roles y responsabilidades es de gran importancia.

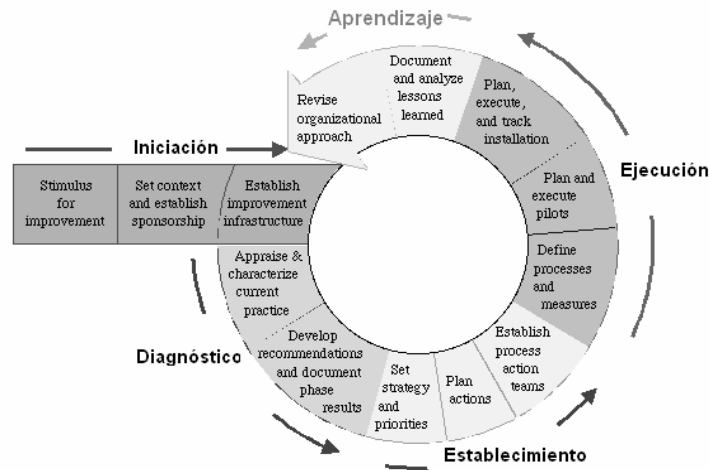


Figura 3. Modelo de Mejora de Procesos IDEAL

2.3 Proyectos de Mejora del proceso software

2.3.1 ¿Qué es un SPI?

“Un programa de mejora es un proyecto continuo que conduce el mejoramiento de los procesos de software de una organización y es responsabilidad directa de la Alta Dirección. Se dice que es un proyecto continuo porque tiene un inicio pero no tiene un fin. Esto es debido a que un programa de mejora está constituido por ciclos de mejora y cada ciclo por fases, es decir, es un proyecto con ciclo de vida iterativo e incremental” [39].

Según esta definición se debe tener claro que mejoramiento de un proceso, hace referencia a: *“El esfuerzo continuo para saber acerca del sistema de causas en un proceso y para usar este conocimiento en el cambio y mejora del proceso y de esa manera reducir su variación, complejidad y mejorar la satisfacción del cliente” [40].*

El mejoramiento de procesos se basa en los principios de mejoramiento continuo. En vez de proponer una reingeniería radical de los procesos y competencias existentes en la empresa, habitualmente de enorme costo y alto riesgo, se parte de la base que existe un interés genuino de los ingenieros y gerentes por crear procesos maduros, que permitan usar adecuadamente sus talentos y los recursos asignados. Ambos buscan minimizar los problemas evitables y fortalecer la prosperidad común que resulta del éxito de la empresa.

2.3.2 Ventajas de implantar un programa SPI

Implantar un programa de mejora en una organización, ofrece diversas ventajas ya que además de lograr una notable elevación en la calidad del producto, permite aumentar la eficiencia de costos y tiempo, la posibilidad de reproducir éxitos en proyectos, el control de los riesgos de procesos, y finalmente, aumentar la confianza y satisfacción del cliente [41].

En los años noventa, la mejora de procesos de software se promovió principalmente bajo los auspicios de lograr los requisitos de varios modelos y estándares. La consultora de negocios Tantara Inc. cree que los modelos y estándares tienen un papel importante en la mejora del proceso de software pero cree que estos no son necesarios como requisito previo para la excelencia comercial [42], ya que la importancia de los SPI, tal como lo muestra la [45], se centra no sólo en la elevación de la calidad del producto, sino también en los factores mencionados anteriormente.

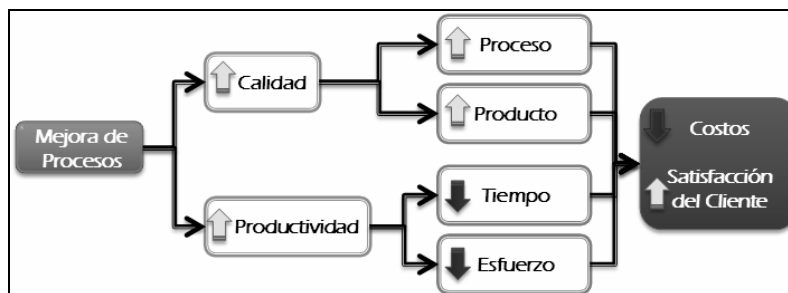


Figura 4. Reducción de Costos y Aumento en la satisfacción del Cliente [45].

Adicionalmente es importante destacar algunas de las ventajas que se obtienen, como industria y empresa, al implementar programas de calidad en la mejora de procesos de software [43]:

- Estandarización y optimización de procesos y recursos en las empresas.
- Aplicación de estándares internacionales de calidad en todo el ciclo de vida del software.
- La calidad del software, por sí misma, proporciona a las empresas de Software una mejor y más sólida posición competitiva a nivel internacional.
- Cadena de Valor, de los productos de software que se desarrollan, es decir que cada uno de los productos sea importante en la creación de otro y así sucesivamente.
- Menor Costo para el Cliente. Presupuestos y programas elaborados con mejores técnicas de estimación de recursos y tiempos.
- Garantía de Satisfacción del Cliente. Especificación y seguimiento de requerimientos del cliente de manera controlada.
- Reducción de Fallas y Errores. Personal capacitado en la aplicación de mejora de procesos de software.

2.3.3 Metodologías de Mejora de Procesos de software Aplicados a MiPyMES

Los metodologías de mejora de procesos de software más conocidos son: IDEAL, ISO/IEC 15504 (en la parte 4) y el ciclo de mejoramiento PDCA [44]; las cuales han sido creados y tradicionalmente aplicados a las grandes compañías, con algunas iniciativas puntuales de adaptación de un cierto modelo a las MiPyMES. No se han encontrado modelos formalmente documentados basados en IDEAL y especialmente adaptados a las necesidades de las pequeñas y medianas empresas, pero sí diferentes iniciativas de aplicación y ajuste de estos modelos en MiPyMES de desarrollo de software [45].

Por otra parte, se han producido algunas aportaciones de métodos propios, algunos basados en un modelo ya existente y otros creados específicamente para el sector de las PyMES [45].

En el Anexo 5 [Anexo 5: Resumen de las aplicaciones realizadas de los diferentes modelos de mejora de procesos de software al caso específico de MiPyMES], se presenta un resumen de las aplicaciones realizadas de los diferentes modelos de mejora de procesos de software al caso específico de MiPyMES, resumen tomado de uno de los artículos publicado en la Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software en Diciembre del 2.005 [46], la cual ha sido actualizado con información acerca de los últimos proyectos de mejora de procesos de software aplicados a MiPyMES [45].

2.4 Medidas de Software y Entidades de Medición

2.4.1 Ontologías de medición de Software

La medición del software juega un papel muy importante en la Ingeniería del Software. Actualmente, las medidas de software están demostrando ser muy eficaces en la construcción de sistemas de alta calidad [68], en la comprensión y mejora de los proyectos de desarrollo y mantenimiento del software [69], en la evaluación y garantía de calidad de sistemas, evidenciando las áreas problemáticas [70] y en la determinación de mejores prácticas de trabajo con el fin de ayudar a los usuarios e investigadores en su trabajo [71], entre otras.

Además, las métricas de software son herramientas importantes que ayudan en la evaluación y en la institucionalización de la Mejora del Proceso Software (**Software Process Improvement**) en organizaciones que lo desarrollan. De hecho, la medición del software es la pieza clave de iniciativas como SW-CMM (**Capability Maturity Model for Software** – Modelo de Madurez de Capacidad para Software), ISO/IEC 15504 (SPICE, **Software Process Improvement and Capability dEtermination** – Mejora del Proceso Software y Determinación de Capacidad) y CMMI (**Capability Maturity Model Integration** – Integración del Modelo de Madurez de Capacidad). El estándar ISO/IEC 9003:2004 [72] también destaca la importancia de la medición en la gestión y garantía de la calidad.

La estandarización también juega un papel clave en la Ingeniería del Software, y en particular en el campo de la medición del software. Los estándares proporcionan a las empresas prácticas y tecnologías convenientes ampliamente aceptadas, con el fin de ayudar en el manejo y empleo de métodos de ingeniería, reforzando la ingeniería del software como una disciplina de "ingeniería" en lugar de una "artesanía". Por lo que la estandarización es uno de los principales esfuerzos y más necesarios para alcanzar la interoperabilidad, facilitando la disposición de convenciones, terminologías y prácticas convenientes para el dominio [74].

Sin embargo, la medición del software sufre los síntomas típicos de cualquier disciplina relativamente joven [69]. A pesar de los esfuerzos y de los avances en la investigación y en la estandarización internacional durante la última década, la medición del software se encuentra en una fase en que terminología, principios y métodos aún están siendo definidos, consolidados y acordados. En particular, no hay todavía consenso sobre los conceptos y terminologías utilizadas en este campo. Por ejemplo, usuarios e investigadores de la medición del software aún no lograron un acuerdo sobre el significado preciso de algunos términos comúnmente utilizados como "medición", "medida", "métrica", "atributo medible", entre otros. Además, frecuentemente se pueden encontrar inconsistencias entre diferentes propuestas de investigación en el área de la medición [73].

La situación no es mucho mejor si se observan los estándares internacionales de ingeniería del software desarrollados por las principales organizaciones e instituciones de estandarización como IEEE, ISO o IEC. Se pueden encontrar inconsistencias y conflictos de terminología entre estándares de diferentes organizaciones e incluso en algunos de una misma organización. Además, ningún estándar contiene una visión completa de la medición del software. Todos ellos ofrecen vistas parciales del dominio de la medición del software: las métricas, el proceso de medición, o las entidades y objetivos de la medición [75].

Este problema ha sido reconocido por ISO/IEC que ha creado un grupo de trabajo para la armonización de los estándares de ingeniería de sistemas dentro del "Joint Technical Comité" (JTC1: "Information Technology"). Este grupo está intentado incluir explícitamente en sus directivas procedimientos que garanticen la consistencia y coherencia entre sus estándares. El esfuerzo de ISO para armonizar la tecnología de medición empezó con la selección de la terminología del Vocabulario Internacional de Términos Básicos y Generales en Metrología de ISO (*ISO International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology – VIM*) [74] para los estándares ISO/IEC TR 14143-3 e ISO/IEC 15939 y para documentos futuros del SC7 (Sub-comité 7, dedicado a la Ingeniería del Software) relacionados con la medición. Además, hay un acuerdo desde el año 2002 entre la IEEE-Computer Society e ISO/JTC1-SC7 para armonizar sus estándares, incluyendo la terminología sobre la medición. Sin embargo, parece que la situación aún se encuentra lejos de estar resuelta.

Con el objetivo de contribuir a la armonización de los diferentes estándares de la medición del software y propuestas de investigación, se tiene como base para el presente trabajo de grado, La *Ontología de Medición de Software* [75], en la cuál se

presenta un análisis comparativo de los conceptos y términos usados en los estándares más relevantes en el campo de la medición, identificando las concordancias, discrepancias y conflictos de terminología y presenta una propuesta unificada cuyo objetivo principal es contribuir para la creación de una terminología consistente para la medición del software que es la que será utilizada para el presente trabajo.

2.4.2 ¿Métrica ó Medida?

Actualmente una de las cuestiones más polémicas entre los expertos en la medición del software es uso del término *métrica*. Aunque está ampliamente utilizado y aceptado por muchos estudiosos e investigadores, este término también cuenta con muchos detractores que defienden las siguientes razones en contra de su uso: primero, hablando formalmente, una *métrica* es una función que mide la distancia entre dos entidades y por lo tanto se define con propiedades matemáticas precisas de una distancia; en segundo lugar, la definición de métrica proporcionada por ambos diccionarios, general y técnico, no refleja el significado con el cual se utiliza informalmente en la medición del software [73].

Métrica es un término que no está presente en la terminología de medición de ninguna otra disciplina de ingeniería, por lo menos no con el significado que se utiliza comúnmente en la medición del software. Por lo tanto, el uso del término “métrica software” parece ser impreciso, mientras que el término “medida software” parece ser más apropiado para representar este concepto.

Todos los nuevos esfuerzos de armonización de ISO/IEC e IEEE están intentando evitar el uso de métrica con el objetivo de alinearse con el resto de las disciplinas de medición que utilizan normalmente el vocabulario definido en Metrología [73].

Sin embargo, el uso del término *medida* tampoco está libre de controversia en la medición del software y esto es lo que probablemente está obstaculizando una aceptación más amplia por parte de los expertos que actualmente apoyan el uso de “métrica”.

Por ejemplo, ISO/IEC 15939 (hasta ahora el estándar mejor alineado con la terminología VIM²⁵) define *medida* como resultado de la medición. Este estándar define los términos *medida base* y *medida derivada* como tipos particulares de medida. Como se observa, el concepto de *medida* usado en estos dos últimos conceptos no parece representar el resultado de la medición, sino que representa la combinación de *escala de medición* y del *método de medición* (es decir, lo que ISO/IEC 14598 define como *métrica*). El problema con este concepto no está definido en ISO/IEC 15939.

La situación no es mejor en ISO/IEC 14598. Este estándar define *métrica* como la combinación de *escala de medición* y de *método de medición*, y define *medida* como resultado de la *medición*. Sin embargo, inconsistentemente utiliza también *medida*

²⁵ **VIM:** International Vocabulary of Basic and general terms in Metrology

directa y medida indirecta. Es decir, aunque ISO/IEC 14598 los define como tipos de *medidas*, en realidad se utilizan como tipos de *métricas*.

Para efectos de este trabajo, se toma como referencia la propuesta de la *Ontología de Medición de Software* [75], distinguiendo entre *medida* y *resultado de la medición*. El término *medida* agrega la *escala de medición* y el *método de medición* (y, por lo tanto, *medida base* y *medida derivada* pueden ser definidas y utilizadas consistentemente), mientras que el término *resultado de la medición* contiene el producto de la realización de una medición. Así, el término *métrica* no es necesario en el presente trabajo.

2.4.3 Indicadores

ISO/IEC 15939 e ISO/IEC 14598 introducen el término *indicador*. Aunque en ambos estándares este término parece representar el mismo concepto, las definiciones dadas en ellos difieren significativamente.

ISO/IEC 15939 no utiliza ningún término predefinido (por ejemplo, *medida*) para definir *indicador*. En este estándar, *indicador* se define como “una estimación o evaluación de los atributos específicos derivados de un modelo con respecto a necesidades de información definidas”. Sin embargo, está directamente relacionado con *medidas base* y *derivada* de ISO/IEC 15939. En ISO/IEC 14598, un *indicador* se define como tipo de *medida* (no una *métrica*, es decir, es un *resultado de la medición*), aunque parece compartir las mismas propiedades de una métrica en la terminología de ISO/IEC 14598 (es decir, una *medida*).

Lo que se percibe es que ambos estándares parecen estar de acuerdo en que los *indicadores* son tipos de *medidas*, pero fallan en la definición del término como tal y lo utilizan constantemente (en ISO/IEC 14598 se define como *medida*, pero después se utiliza como *métrica*, y en ISO/IEC 15939 incluso no se define como *medida*). La razón parece ser otra vez los términos *métrica* y *medida* definidos de manera diferente en ambos estándares [73].

En la Ontología de la Medición de Software, la definición de medida permite definir indicadores de una manera consistente. Comparten las características de medidas porque tienen una escala y un método de medición. En el caso de los indicadores, el método de medición es un modelo del análisis. En este sentido, los indicadores son medidas (según la definición de medida de la Ontología de la Medición de Software). En la Ontología de la Medición de Software se encuentra una explicación más detallada de términos, conceptos y relaciones entre éstos, los que brindan un mayor soporte a este trabajo se describen a continuación (Ver Anexo 6). El glosario de conceptos de la Ontología utilizada para este trabajo se muestra en la Tabla 4.

Concepto	Descripción	Ejemplos
Necesidad de Información	Información necesaria para gestionar un proyecto (sus objetivos, hitos, riesgos y problemas).	Conocer el nivel de productividad de los programadores del proyecto en comparación con lo habitual en otros proyectos en la

		organización.
Concepto Medible	Relación abstracta entre <i>atributos</i> y <i>necesidades de información</i> .	Ratio de productividad de un equipo de desarrollo frente a un grado de productividad objetivo.
Entidad	Un objeto que va a ser caracterizado mediante una <i>medición</i> de sus <i>atributos</i> .	El programa "HolaMundo.c"
Categoría de Entidad	Una colección de <i>entidades</i> caracterizadas por satisfacer un cierto predicado común.	"Programas", "Programas en C", "Componentes software", "Componentes COTS", "Componentes software para comunicaciones".
Atributo	Una propiedad mensurable, física o abstracta, que comparten todas las <i>entidades</i> de una <i>categoría de entidad</i> .	Tamaño de código fuente.
Modelo de Calidad	Un conjunto de <i>conceptos medibles</i> y relaciones entre ellos que proporciona la base para especificar requisitos de calidad y evaluar la calidad de las <i>entidades</i> de una determinada <i>categoría de entidad</i> .	Modelo de calidad para productos software de ISO 9126.
Medida	La <i>forma de medir</i> (método de medición, función de cálculo o modelo de análisis) y la <i>escala de medición</i> .	La medida "líneas de código" puede ser definida para realizar mediciones del "tamaño" de un "módulo en C" y para realizar mediciones del "tamaño" de un "programa en Ada".
Escala	Un conjunto de valores con propiedades definidas.	El nivel de madurez CMM: 1, 2, 3, 4, 5 (Ordinal), el tamaño de un código software expresado en líneas de código: Conjunto de los números naturales (Ratio), etc.
Tipo de Escala	Indica la naturaleza de la relación entre los valores de la escala.	Nominal, Ordinal, Intervalo, Ratio y Absoluta.
Unidad de Medición	Una cantidad particular, definida y adoptada por convención, con la que se puede comparar otras cantidades de la misma clase para expresar sus magnitudes respecto a esa cantidad particular.	Kilómetros, metros, millas; Líneas de código, Páginas, Persona-mes; Número de módulos, Número de clases.
Medida Base	Una medida de un <i>atributo</i> que no depende de ninguna otra medida, y cuya <i>forma de medir</i> es un <i>método de medición</i>	LCF (líneas de código fuente escritas), HPD (horas-programador diarias), CHP (coste por hora-programador, en unidades monetarias).
Medida Derivada	Una medida que es derivada de otra medida base o derivada, utilizando una <i>función de cálculo</i> como <i>forma de medir</i> .	HPT (horas-programador totales, que es la sumatoria de las HPD de cada día), LCFH (líneas de código fuente por hora de programador), CTP (coste total actual del proyecto, en unidades monetarias, que es el producto del coste unitario de cada hora por el total de horas empleadas).

Indicador	Una medida que es derivada de otras medidas utilizando un <i>modelo de análisis</i> como <i>forma de medir</i> .	PROD (productividad de los programadores), CAR (costos del proyecto).
Medición	Conjunto de operaciones que permite obtener el <i>valor</i> del <i>resultado de la medición</i> para un <i>atributo</i> de una <i>entidad</i> , usando una <i>forma de medir</i> .	Acción consistente en usar la forma de medir "contar el número de líneas de código" para obtener el resultado de la medición del atributo "tamaño" de la entidad "módulo nominas.c".

Tabla 4. Glosario de conceptos

2.4.4 Entidades de la medición software.

El objetivo de todo proceso de medición es recoger indicadores cuantitativos sobre entidades software [77]. Una entidad software es todo elemento software sobre el que se puede aplicar un proceso de medición. Puede ser un objeto físico (como un programa), un evento que ocurre en un determinado instante de tiempo (hito) o una acción que se lleva a cabo en un periodo de tiempo determinado (una actividad, como la codificación o las pruebas). Las entidades se clasifican en productos y procesos y están caracterizadas por una serie de atributos (tamaño de un programa, tiempo requerido para la codificación, etc.). Para realizar la medición es necesario identificar tanto las entidades como los atributos a medir, es decir, no se puede medir una entidad o un atributo de forma aislada, como por ejemplo medir un programa o medir el tamaño, sino que se tienen que medir de forma conjunta, especificando que lo que se quiere medir es el tamaño de un programa [77].

Con todo ello, para el estudio de la medición del proceso software se debe investigar sobre las entidades software implicadas y los atributos característicos de dichas entidades. En este ítem se aporta una visión general sobre el campo de las métricas software, y en concreto, de las métricas software aplicables para medir el proceso. De acuerdo a modelos de evaluación y mejora como ISO 15504, CMM o CMMI con sus métodos de evaluación asociados, a la hora de incrementar el nivel de madurez de una organización hay que establecer una base cuantitativa que de menor a mayor grado de madurez está enfocada sobre:

- **Medición del Proyecto**, basado en la gestión de proyectos.
- **Medición del Producto**, centrado en su calidad y aspectos técnicos.
- **Medición del Proceso**, basado en el estudio y control de la capacidad de los procesos, así como en la gestión de los cambios en el proceso.

La relación entre las métricas de proceso, proyecto y producto se muestra en la :

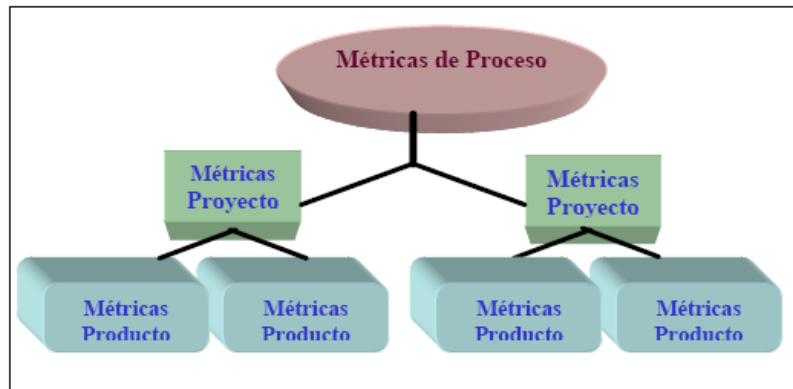


Figura 5. Métricas de Proceso, Proyecto y Producto

Como se puede observar en la Figura 5, el proceso software constituye la base a partir de la cual se realiza el trabajo dentro de una organización. Dichos procesos se aplican en la práctica en forma de proyectos. Como resultado de la ejecución de proyectos concretos se obtienen productos. Por lo tanto, para establecer un marco de medición dentro de una organización es necesario definir, recoger y analizar métricas sobre el proceso, el proyecto y el producto software. A continuación se da una visión general sobre el estado de la investigación en las métricas de estos tres tipos de entidades software [76].

2.4.5 Medidas de Proyecto

La medición de un proyecto constituye el elemento principal sobre el que se basa el estudio de las métricas del proceso software. Cuando se mide el proyecto el objetivo fundamental que se pretende es el de reducir el coste total del proyecto, y el tiempo de desarrollo del mismo. Los indicadores de proyecto permiten al administrador de software [78]:

- Evaluar el estado del proyecto en curso.
- Realizar un seguimiento de los riesgos potenciales.
- Detectar las áreas de problemas antes de que se conviertan en “críticas”
- Ajustar el flujo y las tareas de trabajo.
- Evaluar la habilidad del equipo del proyecto en controlar la calidad de los productos de trabajo de la ingeniería del software.

Es por lo anterior que las medidas del proyecto de mejora SPI se consideran tácticas, es decir, medir el proyecto de mejora ó incorporar a este tipo de proyectos medidas de proyectos y los indicadores adecuados para este tipo de esfuerzos por lograr la mejora de procesos, resulta de gran utilidad para el administrador del proyecto y para el equipo de mejora; esto para adaptar el flujo de trabajo del proyecto y las actividades técnicas y controlar el proyecto en curso.

El primer tipo de métricas de proyectos software pueden ser obtenidas durante la fase de estimación. Las métricas recopiladas de proyectos anteriores se utilizan como la

base a partir de la cual se realizan las estimaciones del esfuerzo y del tiempo necesario para el proyecto actual.

A medida que avanza un proyecto, las métricas del esfuerzo y del tiempo consumido se comparan con las estimaciones originales (y la planificación del proyecto). El administrador de proyectos utiliza estos datos para supervisar y controlar el avance. Para la estimación del tamaño del software cabe destacar la métrica de “Punto Función” [79]. Un punto de función es una medida sintética cuyo valor se determina por medio de los elementos siguientes: Entradas, Salidas, Consultas, Archivos lógicos internos y Archivos de interfaz externos.

Estos elementos se pueden deducir directamente a partir del DFD²⁶ del sistema. Al aplicar el método de puntos función se han de introducir diversas ponderaciones que toman en cuenta la complejidad (reducida, normal o elevada) de cada elemento. Finalmente para obtener la medida final del punto función sobre el resultado anterior se usa un factor multiplicativo que está en función de una serie de factores de influencia. Esta medida final es la de puntos función sin ajustar, sobre la que hay que obtener un valor de puntos función ajustado. Una vez que se conocen los puntos función, ya se tiene un indicador sobre el tamaño del software en la fase de análisis, que puede ser utilizado para realizar estimaciones de esfuerzo [78].

Otras métricas de proyectos pueden ser obtenidas una vez que comienza el desarrollo del producto propiamente dicho, como los índices de producción, que son medidos mediante páginas de documentación, horas de revisión, puntos de función y líneas de código fuente entregadas.

Además, es importante realizar un seguimiento de los errores detectados durante todas las tareas de ingeniería del software. A medida que el software va evolucionando desde la especificación al diseño, se recopilan las métricas técnicas para evaluar la calidad del diseño y para proporcionar indicadores que influirán en el enfoque a seguir para la generación de código y para las pruebas. El uso de métricas para los proyectos tiene dos características fundamentales[80]: estas métricas se utilizan para minimizar la planificación de desarrollo guiando los ajustes necesarios que eviten retrasos y atenúen problemas y riesgos potenciales; y se utilizan para evaluar la calidad de los productos en el momento actual con el fin de poder mejorarlos.

Otro modelo de métricas de proyectos software es el propuesto por [81] que recomienda medir los siguientes elementos:

- **Entradas:** la dimensión de los recursos (como por ejemplo personas, medio ambiente) que se requieren para realizar el trabajo.
- **Salidas:** métricas de las entregas o productos creados durante el proceso de ingeniería del software.
- **Resultado:** métricas que indican la efectividad de las entregas.

²⁶ DFD: Diagrama de Flujo de Datos

Este modelo se puede aplicar tanto al proceso como al proyecto. En el contexto del proyecto, el modelo se puede aplicar de forma recursiva a medida que aparece cada actividad. Por consiguiente, las salidas de una actividad se convierten en las entradas de la siguiente. Las métricas de resultados obtenidos de un proyecto de mejora se pueden utilizar para proporcionar una indicación de la utilidad de los productos cuando fluyen de una actividad (o tarea) a la siguiente y para determinar la efectividad de un proyecto SPI.

2.4.6 Medidas de Proceso

Las entidades de procesos de software incluyen actividades relacionadas con el software y eventos que usualmente son asociados con un factor de tiempo [78]. Las métricas del proceso de software se utilizan para propósitos estratégicos. Por ejemplo, actividades definidas como el desarrollo de un sistema de software desde la fase de requisitos hasta la entrega al usuario o la inspección de una parte del código. Las medidas de proceso también se extraen midiendo las características de tareas específicas de la ingeniería de software y obteniendo como resultados métricas sobre los errores detectados antes de la entrega del software, defectos detectados e informados por los usuarios finales, productos de trabajo entregados, el esfuerzo humano y tiempo consumido, ajuste con la planificación, etc.

Los indicadores de procesos permiten a una organización tener una visión profunda de la eficacia de un proceso ya existente; por ejemplo: el paradigma, las tareas de ingeniería del software, los productos del trabajo e hitos. También permiten que los administradores evalúen lo que funciona y lo que no.

Las medidas de proceso se recopilan de todos los proyectos y durante un largo periodo de tiempo. El objetivo es proporcionar indicadores que lleven a mejoras de los procesos software a largo plazo [78]. Es por esto que resulta conveniente a la hora de implantar un proceso ó proyecto de mejora SPI, medir el proceso (s) involucrado (s) en el proyecto de mejora en cualquier momento del proyecto, poder establecer indicadores relacionados con el propio modelo del proceso, ya que es posible que la complejidad u otras características de calidad del modelo puedan afectar a su ejecución y por consiguiente a la calidad de los productos finales obtenidos. En la literatura los trabajos relacionados con la medición del proceso se han enfocado a la medición de los proyectos, pero no existen propuestas sobre métricas de procesos que hayan sido validadas teórica y empíricamente.

2.4.7 Medidas de Producto

La medición del producto software está centrada en evaluar la calidad de los entregables. Los productos del software son las salidas del proceso de producción del software, que incluyen todos los artefactos entregados o documentos que son productos durante el ciclo de vida del software. La mejora de procesos genera nuevos productos de trabajo ó incrementa la calidad en los existentes, y es por esto que es

necesario medir la calidad del producto nuevo ó del producto existente después de la mejora para verificar si después de la mejora, se puede visualizar un incremento en la calidad de los productos de trabajo asociados con el proceso definido ó mejorado con el proyecto SPI.

En la literatura existe una gran diversidad de propuestas relacionadas con la medición del producto. En la Tabla 5 se muestran de forma resumida los trabajos más representativos relacionados con la medición del producto [78] [82], para lo cual, y teniendo en cuenta que el objetivo final es evaluar el proceso, se han clasificado de acuerdo a la fase en la que se producen: Requisitos, Análisis, Diseño, Codificación, Pruebas y Mantenimiento siguiendo la clasificación de [78]:

Fase	Métricas
Requisitos	Número de requisitos de una especificación, Ambigüedad en la especificación, Compleción de los requisitos, Grado de validación de los requisitos.
Análisis	Punto Función Métricas Diagramas ER (NE, NA, NDA, NCA, NMVA, NNR, NM:NR, N1:NR, NbinaryR, NN-AryR, NIS_AR, NrefR, NRR) [83]. Profundidad del Árbol de Herencia, Número de Hijos [84]. Modelos de Clases (NAssoc, NAgg, NDep, NGen, NGenH, NAggH, MaxDIT, MaxHAgg, NAssocC, HAgg, NDP, NP, NW, NDepIn, NDepOut) [85].
Diseño	Complejidad estructural, complejidad de datos, Complejidad del sistema. Métricas de Cohesión. Métricas de Acoplamiento. Métricas de Complejidad (Complejidad Ciclomática). Métricas de Tamaño (PIM , NIM, NIV , NCM, NVV), Métricas Herencia (NMO, NMI, NMA, SIX), Métricas Internas de Clases (APPM) [86].
Codificación	Métricas Longitud Programa, Volumen Programa Métricas Lenguajes 4GL (LDCp, NDA, V'(G), NSC, NCTI, NAVI, NSVM, LHSV, LDCe) Métricas SQL (NCCT, NDCA , NSCT, NCCV, NSCV, NDS, NDI, NDD, NDU, NT, NA, A, NO, LDCs, LDct) [87].
Pruebas	Complejidad Ciclomática. Profundidad de las pruebas, Perfiles de Fallos. IMS (Índice de Madurez del Software).
Mantenimiento	Métricas MANTEMA (TRCU, TRCNU, NPMCU, NPMCNU, MAXCU, MAXCNU) [88].

Tabla 5. Métricas de Producto

2.5 Medición del Proceso de Software

2.5.1 Estándares y metodologías de medición

Antes de poder aplicar planes de mejora en una organización es necesario partir de una base cuantitativa que nos permita determinar de forma objetiva los puntos fuertes y débiles de los procesos. Las métricas software constituyen la base necesaria para

poder llevar a cabo un proceso de evaluación y consecuente mejora de los procesos software [88]. Por ello la medición es un aspecto que se tiene muy en cuenta en los modelos de evaluación como en ISO/IEC 15504 en el que se define un proceso de la medición, o como CMMI en el que se incluye un área clave de proceso en el nivel dos de madurez denominada "Medición y Análisis". Como soporte al proceso de medición se pueden destacar diversos marcos de trabajo como GQM (*Goal Question Metric*) o PSM (*Practical Software Measurement*) [89], así mismo estándares como el ISO 15939 (ISO/IEC, 2002). El objetivo de estos estándares y marcos de trabajo es proporcionar la referencia necesaria para poder llevar a cabo el proceso de medición de una forma efectiva y sistemática, partiendo de la base de que la medición es un proceso que debe ser llevado a cabo en base a una serie de objetivos.

2.5.2 Goal Question Metric (GQM).

El método GQM fue originariamente definido por Basili y Weiss [90] y extendido posteriormente por Rombach [91] como resultado de muchos años de experiencia práctica e investigación académica. El principio básico que subyace tras el método GQM es que la medición debe ser realizada, siempre, orientada a un objetivo. GQM define un objetivo, refina este objetivo en preguntas y define métricas que intentan dar información para responder a estas preguntas.

Así, el método GQM se basa en el hecho de que cualquier métrica puede ser definida mediante un esquema arriba-abajo. El resultado de aplicar la aproximación GQM es un modelo en tres niveles: el nivel conceptual en el que se definen los objetivos (*goal*), el nivel operacional en el que se definen las preguntas (*question*) y el nivel cuantitativo en el que se definen las métricas (*metric*). De esta forma, el objetivo se define mediante una serie de preguntas y cada pregunta se redefine a través de unas métricas tal y como se puede observar en la Figura 6:

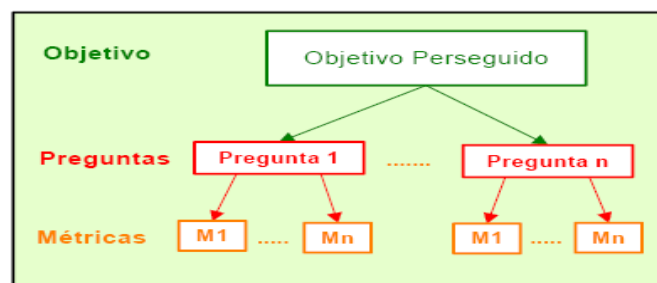


Figura 6. Método GQM

Mediante la utilización de la aproximación GQM se da soporte a la definición medidas de acuerdo a un objetivo concreto, lo cual no quiere decir que las métricas obtenidas como resultado de la aplicación de GQM acaben resultando útiles, ya que para ello se deben validar teórica y empíricamente.

2.5.3 Practical Software Measurement (PSM).

La metodología PSM (*Practical Software Measurement*) [89] se basa en la experiencia obtenida por docenas de organizaciones para saber cuál es la mejor manera de implementar un programa de medida de software con garantías de éxito. Las prácticas y principios que propone se han llevado a cabo con éxito en multitud de proyectos software. No se trata de una aproximación general, sino que incluye líneas guía para ajustar los marcos de trabajo de la medida y las prácticas a la situación de cada proyecto en cada organización.

PSM propone un Modelo de Procesos de Medida (Ver Figura 7) que se divide en cuatro actividades principales:

- **Planificación de la Medición.** En esta actividad se definen las medidas necesarias que proporcionen la visibilidad en los proyectos necesaria para satisfacer las necesidades de información. Esta actividad incluye identificar qué necesitan saber los beneficiarios de la medición (encargados de la toma de decisiones), relacionar las necesidades de información con las entidades que pueden ser medidas y seleccionar y especificar medidas basadas en los proyectos y en los procesos organizacionales.
- **Realización de la Medición.** Esta actividad implica recoger los datos de las mediciones, realizar el análisis y presentar los resultados para que la información pueda ser útil para la toma de decisiones.
- **Evaluación de la Medida.** En esta actividad tanto el proceso de medición como las propias medidas definidas deben evaluarse y mejorarse periódicamente según sea necesario.
- **Establecimiento y mantenimiento del Compromiso.** Esta actividad implica establecer los recursos, formación y herramientas necesarias para implementar un programa de medición de forma efectiva, y lo que es más importante, asegurar que hay una gestión que usa la información producida.
Un aspecto básico para disponer de programas de medición efectivos es el hecho de disponer al final del proceso de información útil para los encargados de la toma de decisiones.

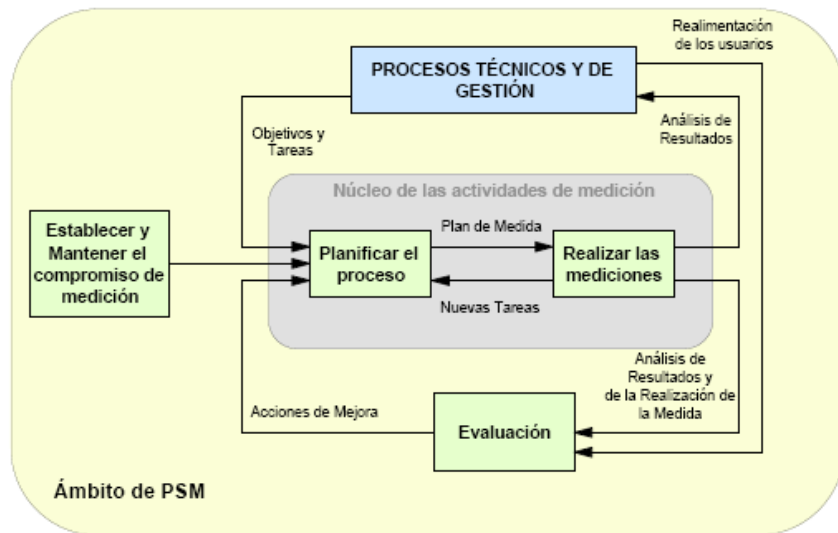


Figura 7. Modelo de Procesos de Medida de PSM

Para ello PSM incorpora un **modelo de información de la medición** que relaciona las entidades que son medidas con las medidas definidas y en última instancia con las necesidades de información que se satisfacen. Este modelo incorpora una estructura denominada **constructor de la medición** que describe como los atributos relevantes de los productos y procesos se cuantifican y se convierten en indicadores, que son elementos que proporcionan la base necesaria para la toma de decisiones. Todo constructor de la medición implica tres niveles de medida: **medidas base, medidas derivadas** e **indicadores**. La relación que establece un constructor de la medición entre lo que se mide y la necesidad de información que se tiene (que se satisface con un producto de información) se representa en la Figura 6:



Figura 8. Relación entre necesidades de información y atributos

En definitiva, PSM proporciona un método sistemático para la planificación y realización del proceso de medición y análisis. Constituye la referencia en la que se basa el estándar internacional ISO/IEC 15939 y ambos se han convertido en la referencia para la industria proporcionando además un lenguaje común que facilita la comunicación en el ámbito de la medición software.

2.5.4 ISO/IEC 15939.

Este estándar internacional identifica las actividades y tareas necesarias para identificar, definir, seleccionar, aplicar y mejorar de manera exitosa la medición de software dentro de un proyecto general o de la estructura de medición de una empresa.

También proporciona las definiciones de los términos de uso común relativos a la medición dentro de la industria del software.

De acuerdo a este estándar, el principal objetivo del proceso de medición del software es **recoger, analizar y proporcionar datos** relativos a los **productos** desarrollados y a los **procesos** implementados dentro de una organización, para ayudar a una gestión efectiva de los procesos y demostrar objetivamente la calidad de los productos. Como resultado de esta implementación:

- Se establece y mantiene un acuerdo dentro de la organización a la hora de medir.
- Se identifican las necesidades de información de los procesos técnicos y de gestión.
- Se identifica y/o define un conjunto apropiado de medidas en función de las necesidades de información.
- Se identifican las actividades de la medición.
- Se recogen, almacenan y analizan los datos necesarios y se interpretan los resultados.
- Se usan productos de información para apoyar las decisiones y proporcionar una base objetiva para la comunicación.
- Se evalúan el proceso de la medida y las propias medidas.
- Las mejoras se comunican al responsable del proceso de medida.

Tal y como ya se ha comentado, este estándar define las actividades y tareas necesarias para implementar un proceso de medición de software. Una actividad es un conjunto de tareas relacionadas que contribuyen a alcanzar el objetivo y los resultados del proceso de medición de software. Una tarea es un segmento de trabajo bien definido. Lo que este estándar no especifica es cómo realizar cada una de las tareas que componen cada actividad. El proceso de medición de software propuesto en el estándar se compone de cuatro actividades principales (Ver Figura 9) que se suceden en un proceso iterativo permitiendo una realimentación y una mejora continua del proceso de medición.

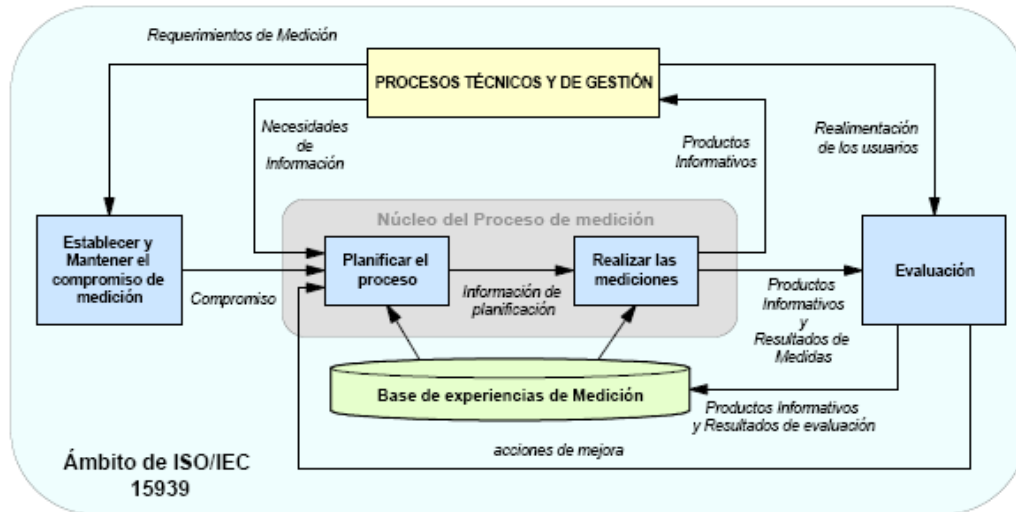


Figura 9. Modelo de Procesos de Medición de Software (ISO/IEC 15939)

Los *Procesos Técnicos y de Gestión* de una organización no se encuentran dentro del ámbito de este estándar, aunque son una interfaz externa importante para las actividades de medición que se incluyen en el estándar.

Hay dos actividades que se consideran el núcleo del proceso de medición: **Planificar** y **Realizar el Proceso de Medición**. Son las actividades que indican principalmente la implicación del usuario de la medición. Las otras dos actividades proporcionan la base del núcleo del proceso y realimentación para el propio núcleo e involucran más al propietario del proceso.

Como se aprecia en la Figura 9, para cada necesidad de información, el núcleo proporciona un producto de información que la satisfaga y éste se comunica a la organización para que sirva como base en la toma de decisiones.

La Base de Experiencia de Medición pretende capturar productos de información de iteraciones anteriores del ciclo, evaluaciones anteriores de productos de información y evaluaciones de iteraciones anteriores del proceso de medición. Así se incluyen las medidas que han resultado ser útiles en la organización. Las tareas que componen las diferentes actividades del proceso de medición de acuerdo al estándar se muestran en Tabla 6:

Actividad	Tareas
Establecer y Mantener el Compromiso de Medición	<ul style="list-style-type: none"> • Aceptar los requisitos de la medición • Asignar recursos
	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener las características de la organización • Identificar las necesidades de información • Seleccionar las medidas • Definir los procedimientos de recolección de

Planificar el Proceso de Medición	datos, análisis e informes <ul style="list-style-type: none"> • Definir los criterios de evaluación de los productos de información y el proceso de medición • Revisar, aprobar y proporcionar recursos para las tareas de medición • Adquirir y utilizar tecnologías de apoyo
Realizar el Proceso de Medición	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar los procedimientos • Recoger los datos • Analizar los datos y desarrollar productos de información • Comunicar los resultados
Evaluar la Medición	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los productos de información y el proceso de medición • Identificar las mejoras potenciales

Tabla 6. Actividades y Tareas en ISO/IEC 15939

2.5.5 La medición en los modelos de calidad, en los métodos de evaluación y en los modelos de mejora

La medición juega un papel fundamental en las organizaciones que pretenden conseguir un alto grado de madurez en sus procesos. Este hecho se demuestra observando el tratamiento y la importancia que los modelos y estándares de madurez y evaluación y mejora dan al proceso de medición, a continuación se presenta un resumen del papel de la medición en algunos de los modelos de calidad:

- **El Modelo de Madurez de la Capacidad (CMM)** [27] asigna un importante rol a la medición a la hora de determinar el estado de los procesos software. Partiendo de la base de que “no hay actualmente un modelo universalmente aceptado de medidas del proceso software o de la calidad” el modelo insta a las organizaciones a identificar para cada Área Clave del Proceso uno o más conjuntos de medidas significativas que puedan proporcionar visibilidad en el rendimiento del proceso (llevado a cabo en forma de proyectos). Partiendo de un conjunto de que los objetivos de la medición son conocidos, cada organización específica tiene la libertad de seleccionar métricas concretas adecuadas para su entorno, industria o cultura. El proceso de medición se describe en el aspecto común del modelo denominado “Medición y Análisis”. Los tipos de mediciones incluidos para cada nivel de madurez son:

- **Nivel Repetible:** Basado en disponer de un conjunto representativo de métricas a nivel de gestión del proyecto. Los valores de estas métricas se utilizan en futuras estimaciones de proyectos.
- **Nivel Definido:** Se dispone de un conjunto de métricas a nivel organizacional que facilita realizar valoraciones sobre los proyectos en su conjunto. A este nivel también se definen métricas relacionadas con la calidad y funcionalidad de los productos.
- **Niveles Gestionado y Optimizable:** La medición se basa en la planificación y gestión de la calidad de los procesos y productos de una forma estadística.

- El estándar **ISO 15504**, incluye en la dimensión del proceso del modelo de referencia (parte 2 de la norma) el proceso de medición, dentro de la categoría de los procesos organizacionales, proceso que cubre todos los procesos que establecen y dan soporte a la consecución de los objetivos organizacionales de negocio. El proceso de medición supone la definición de métricas, la gestión de los datos (incluidos los datos históricos), y el uso de las métricas en la organización [26]. El objetivo que se pretende es el de implementar métricas de proceso y de producto como soporte a la gestión efectiva y a la posibilidad de demostrar objetivamente la calidad de los productos.
- La familia de normas **ISO 9000:2000**, establecen la necesidad de implementar el proceso de medición con el objetivo de controlar la calidad del producto, la capacidad del proceso y la satisfacción del cliente. La gestión usa métricas como una entrada fundamental para la planificación, control y gestión del proyecto, y para también controlar la calidad del producto, todo ello orientado a la **mejora continua** del proceso.
- **CMMI**, proporciona a la medición una gran importancia en la madurez de los procesos al incorporar una nueva área del proceso denominada “Medición y Análisis”, cuyo alcance es mucho más amplio y más explícito que el tratamiento de la medición en el modelo CMM. La incorporación de forma explícita de esta nueva área de proceso en el modelo CMMI proporciona una gestión con el enfoque y la visibilidad que las organizaciones necesitan para guiar el uso de la medición en sus esfuerzos de mejora [92].

El objetivo de esta área es desarrollar y establecer una capacidad de medición que se pueda usar para dar soporte a las necesidades de información de la organización, lo que implica una ampliación a los conceptos incluidos en el modelo CMM. Da soporte al resto de áreas de proceso proporcionando un marco de trabajo a las organizaciones a la hora de alinear los objetivos y necesidades de medición con un enfoque de medición basado en proporcionar resultados objetivos que sean útiles para la toma de decisiones y acciones correctivas. Este enfoque es consistente con las ideas de *Goal-Question-Metric* y del estándar ISO 15939 [93].

En la Figura 10 se representa mediante un diagrama de flujo de datos, los principales procesos relacionados con esta área, y las relaciones de datos entre los mismos:

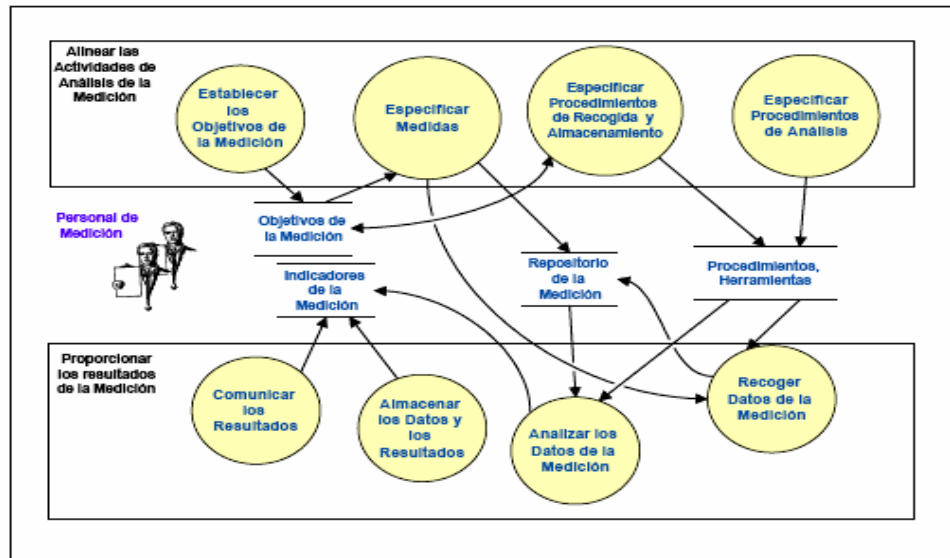


Figura 10. Área Clave “Medición y Análisis” de CMMI

Como se puede observar en la Figura 10, a la hora de establecer un proceso de medición efectivo en una organización es necesario conseguir dos objetivos fundamentales:

- **Alinear las actividades de análisis de la medición.** Para conseguir este objetivo en CMMI se identifican las siguientes prácticas: establecer los objetivos de la medición, especificar medidas, especificar procedimientos de recogida y almacenamiento y especificar procedimientos de análisis. A partir de estas prácticas se establece un plan para la medición y el análisis con el que se pretende resolver preguntas como: ¿por qué se mide?, ¿qué se va a medir?, ¿cómo se va a medir?, entre otras.
- **Proporcionar los resultados de la medición.** Las prácticas asociadas con la consecución de este objetivo son: Recoger los datos de la medición, analizar los datos de la medición, almacenar los datos y resultados y comunicar los resultados. Por lo tanto, con estas prácticas se pretende establecer un buen proceso de recogida y comunicación de los resultados, ya que éstos deben proporcionarse a la persona adecuada para satisfacer sus necesidades de información.

Por lo tanto, el primer paso del proceso de medición es el de identificar los objetivos de la medición para, en un segundo paso, implementar el proceso de medición y análisis, lo que requiere la integración de la medición en los distintos procesos del trabajo de una organización.

La importancia de la medición en el modelo CMMI también se ve claramente reflejada en su incorporación a varias prácticas genéricas tal y como se puede apreciar en la Tabla 7 [92].

Práctica	Objetivo
Monitorizar y Controlar el Proceso	Monitorizar y controlar el proceso respecto al plan para la realización del proceso y llevar a cabo las acciones correctivas apropiadas.
Recoger Información de Mejora	Recoger productos de trabajo, medidas, resultados de la medición, e información de la mejora derivada de la planificación y realización del proceso para dar soporte a su uso futuro y a la mejora de los procesos de la organización
Establecer Objetivos Cuantitativos para el Proceso	Establecer y mantener objetivos cuantitativos sobre la calidad y rendimiento del proceso basados sobre las necesidades de los clientes y los objetivos del negocio.
Estabilizar el Rendimiento de los SubProcesos	Estabilizar el rendimiento de uno o más subprocesos del proceso para determinar su habilidad para obtener la calidad establecida de forma cuantitativa y los objetivos de rendimiento del proceso.
Asegurar la Mejora Continua del Proceso	Asegurar la mejora continua del proceso en la consecución de objetivos de negocio relevantes de la organización.
Corregir las causas raíz de los problemas	Identificar y corregir las causas de los defectos y de otros problemas en el proceso.

Tabla 7. Prácticas Genéricas de CMMI relacionadas con la medición.

2.5.6 La importancia de la medición del proyecto y el proceso de Software

Una de las razones principales del incremento masivo en el interés en la medición de software ha sido la percepción de que las medidas son necesarias para la mejora del proceso [66].

Existen diversos estudios relativos a la medición de software desde diferentes puntos de vista, en este trabajo, se enfoca el estudio al uso de la medición como base para la evaluación y posterior mejora de los procesos software.

Antes de poder aplicar planes de mejora ya sea de un proyecto o un proceso dentro de una organización es necesario partir de una base cuantitativa que nos permita determinar de una forma objetiva los puntos fuertes y débiles de la organización en cuanto a la gestión y administración de sus proyectos ó las debilidades y fortalezas de los procesos que dicha organización desarrolla. Las medidas software constituyen la base necesaria para poder llevar a cabo un proceso de evaluación sistemático y consecuente mejora de los procesos software.

La medición del proyecto constituye el elemento principal sobre el que se basa el estudio de las medidas del proceso software; la medición del proyecto de mejora constituye el elemento principal sobre el que se basa el estudio del proyecto de mejora, en cuanto a su eficacia, eficiencia y productividad. La medición del proyecto de mejora permite establecer una línea base para posteriores ciclos de mejora que se quieran implantar en una organización. Cuando se mide el proyecto de mejora, el objetivo fundamental que se pretende es el de determinar qué tan efectivo resulta para una organización este tipo de proyectos en cuanto a la reducción de costos, reducción del tiempo de desarrollo de la organización, esfuerzo implicado en sus actividades; también determinar si ha incrementado la calidad del proceso y de los productos de trabajo involucrados. Los indicadores de proyecto permiten al administrador de software [67][64]: Evaluar el estado del proyecto en curso, realizar un seguimiento de los riesgos potenciales del proyecto, detectar las áreas de problemas antes de que se conviertan en “problemas críticos”, ajustar el flujo y las tareas de trabajo y evaluar la habilidad del equipo del proyecto en controlar la calidad de los productos de trabajo de la ingeniería del software.

Las medidas del proyecto de mejora de procesos de desarrollo software son utilizadas por el administrador de proyectos y por el equipo de software para adaptar el flujo de trabajo del proyecto, los procesos y las actividades de acuerdo a sus necesidades y objetivos de mejora.

El primer tipo de medidas para los proyectos software pueden ser obtenidas durante las primeras fases de un proyecto de mejora, estas son medidas de estimación. Las medidas recopiladas de proyectos de mejora anteriores se utilizan como la base a partir de la cual se realizan las estimaciones del esfuerzo y del tiempo necesario para el proyecto actual ó si se toman medidas del proyecto de mejora actual, estas sirven para realizar estimaciones en cualquier momento de la ejecución del proyecto acerca de su eficiencia y eficacia, y sirven de base para estimaciones necesarias para ciclos posteriores de mejora dentro del mismo proyecto. A medida que avanza un proyecto, las medidas del esfuerzo y del tiempo consumido se comparan con las estimaciones originales (y la planificación del proyecto). El administrador del proyecto utiliza estos datos para supervisar y controlar el avance.

En cuanto al proceso software, la medición de este incluye actividades relacionadas con el desarrollo software. Las medidas del proceso de software se utilizan para propósitos estratégicos. Por ejemplo, actividades definidas como el desarrollo de un sistema de software desde la fase de requisitos hasta la entrega al usuario o la inspección de una parte del código. Las medidas de proceso también se extraen midiendo las características de tareas específicas de la ingeniería de software y

obteniendo como resultados medidas de los errores detectados antes de la entrega del software, defectos detectados e informados por los usuarios finales, productos de trabajo entregados, el esfuerzo humano y tiempo consumido, ajuste con la planificación.

La medición de los procesos software permiten a una organización tener una visión profunda de la eficacia de un proceso ya existente; por ejemplo: las tareas de ingeniería del software, los productos del trabajo e hitos. También permiten que los administradores evalúen lo que funciona y lo que no. Las medidas de proceso se recopilan de todos los proyectos y durante un largo periodo de tiempo. El objetivo es proporcionar indicadores que lleven a mejoras de los procesos software a largo plazo.

Capítulo 3. Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software MLM – PDS

Este capítulo se encuentra dividido en 5 ítems para facilitar la comprensión del modelo. En el primer ítem, se presenta un acercamiento conceptual acerca del alcance del modelo, los criterios empleados para su construcción y el enfoque que se tiene hacia los procesos; en el segundo ítem se describe de manera general el método de trabajo utilizado para construir el Modelo Liviano de Medidas **MLM – PDS**; en el tercer ítem se describe el mecanismo utilizado para la definición de las medidas, el cuál está basado en el framework GQM²⁷; en el cuarto ítem se realiza un acercamiento a la Ontología de Medición de Software utilizada [99]; y finalmente se describen las medidas propuestas por este trabajo a nivel de proyecto, proceso y producto de trabajo.

3.1 Vista General del MLM – PDS

El Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software **MLM – PDS**; pretende contribuir a que las organizaciones del país, que implementen un modelo de mejora de procesos de software, puedan medir el grado de efectividad que éste trae a la organización y si está aportando al logro de las metas y objetivos de la misma. Esto podrá verse reflejado en la realización de software confiable, con tiempo y precios moderados, permitiendo mejorar de una u otra manera la economía del país ya que los productos podrán ser competitivos.

Con el resultado obtenido del uso de éste modelo de medidas, se pretende guiar en la gestión del proceso de mejora de los procesos de desarrollo de software para que de esta manera, las empresas puedan implantar un modelo eficaz que les permita mejorar sus procesos y que a su vez los acerque a lograr una certificación en los modelos de organizaciones internacionales como ISO²⁸ y SEI²⁹.

3.1.1 Requerimientos

Proporcionar a la industria de software colombiana, conformada en su mayoría por micro, pequeñas y medianas empresas, un modelo basado en criterios adaptados a los elementos más importantes y representativos de las prácticas propias de este tipo de organizaciones con las siguientes características:

- Fácil de entender

²⁷ **GQM**: Goal Question Metric.

²⁸ **ISO**: Internacional Organization for Estandadization.

²⁹ **SEI**: Software Engineering Institute.

- Fácil de aplicar
- No costoso en su adopción

3.1.2 Alcance

El modelo liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software **MLM – PDS** está dirigido a las micro, pequeñas y medianas empresas Colombianas dedicadas al desarrollo de software.

Las empresas, que no cuenten con procesos establecidos, pueden usar el modelo ajustándolo de acuerdo a sus necesidades al igual que las empresas que ya tienen establecidos sus procesos, además este modelo permite evaluar la eficacia del proceso de mejora de los procesos de desarrollo de software, indistintamente del modelo ó framework de mejora adoptado por la organización y de los objetivos que ésta pretenda alcanzar con su ejecución.

3.1.3 Criterios empleados

Los requerimientos iniciales para la elaboración del modelo **MLM – PDS** son los siguientes:

- Generar una estructura fácil de entender y utilizar por parte de las empresas desarrolladoras de software Colombianas.
- Escoger los factores representativos que se involucran en los proyectos de mejora de procesos y que sean acordes a las características de las MiPyMES de la industria nacional para la definición de las medidas.
- Destacar los elementos más representativos de los proyectos de mejora y tenerlos como punto de partida para determinar aspectos relevantes de los proyectos SPI.
- Estar adecuado a una industria dinámica, creativa, innovadora e incierta como lo es la industria del software. Una industria donde el conocimiento y el talento humano son elementos fundamentales para garantizar su éxito.
- Fundamentar el modelo **MLM – PDS** en metodologías y estándares internacionales, integrando la esencia de éstos para lograr un buen modelo adaptado a la industria nacional.

3.1.4 Enfoque basado en procesos

El desarrollo de software se lleva a cabo a través de procesos, definido éste como un “conjunto de actividades interrelacionadas ó que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”, y donde los procesos se gestionan como un sistema, mediante la creación, y entendimiento de una red de procesos y sus interacciones. La ingeniería de Software se ha dedicado a identificar las mejores prácticas para realizar estas actividades recopilando las experiencias exitosas de la industria de software a nivel mundial [Ver detalles en Anexo 4: Normas ISO 9000:2000]. Estas prácticas se han organizado y dado a conocer por organizaciones como ISO y SEI.

El Modelo Liviano de Medidas que se propone considera aspectos relevantes de los procesos, roles y actividades de dichos modelos y adapta éstos al contexto de la industria de software nacional. El modelo pretende apoyar a las empresas en la mejora de sus procesos, en la evaluación de sus procesos y en la integración de la mejora continua.

3.2 Integración del MLM – PDS al Framework de Agile – SPI

Agile SPI es un Framework caracterizado por [94]:

- Guiar la mejora de los procesos de desarrollo de software, manteniendo el nivel de agilidad que la empresa desee, normalmente un proceso liviano y/o ágil adecuado a las PyMES.
- Estar basado en modelos livianos que soportan un programa de mejora continuo a través de un proceso de mejora ágil llamado Agile SPI - Process.
- Estar adecuado a una industria dinámica, creativa, innovadora e incierta como lo es la industria del software. Una industria donde el conocimiento y el talento humano son elementos fundamentales para garantizar su éxito.

Básicamente se ha formado su estructura a partir de los componentes primarios de un programa de mejora: una guía de mejora y unos modelos de soporte. En el caso de Agile SPI, los modelos son: el de calidad: Modelo Liviano de Calidad para la Mejora de Procesos de Desarrollo Software – MLCMPD [95]; el de evaluación: Agile SPI – Light Evaluation Model [98]; y el de medidas: Agile SPI – MLM - PDS. Hay dos elementos integradores de toda la estructura: el modelo conceptual de soporte (Framework PDS) y el proceso que integra de manera dinámica los componentes (Agile SPI – Process)

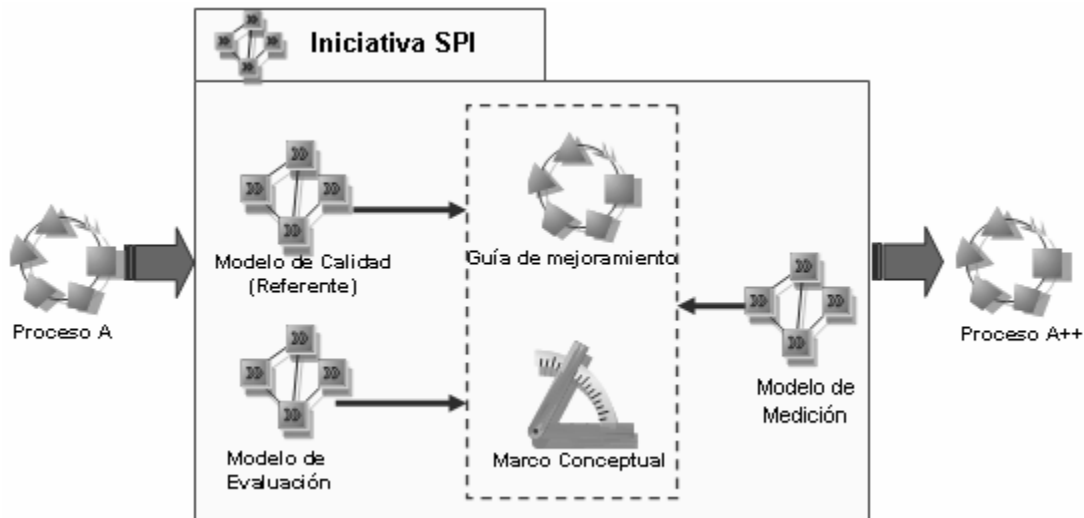


Figura 11. Arquitectura conceptual de Agile SPI.

A continuación se describen brevemente los componentes del modelo integral de mejoramiento Agile SPI [96]:

- Un proceso ágil de guía a un programa de mejora de procesos en el marco de un proyecto de mejora, **Agile SPI – Process**. Es un proceso que cuenta con los elementos básicos para hacer posible que PyMES, puedan adelantar esfuerzos hacia la adecuación de un proceso de desarrollo acorde a sus necesidades. Este proceso es el marco de referencia para la gestión de los proyectos de mejora, este marco integra el método, los modelos, la infraestructura, las técnicas y las herramientas de soporte.
- Un modelo de calidad liviano, **Modelo Liviano de Calidad para la Mejora de Procesos de Desarrollo Software – MLCMPDS**, que integra proceso y producto, y que guía la organización de las personas y los equipos, las disciplinas y las áreas de trabajo asociadas a la definición, aplicación y mejora del proceso hacia un nivel de madurez definido.
- Un modelo de evaluación liviano, **Agile SPI – Light Evaluation Model**, que permite identificar y diagnosticar problemas de la industria en cuanto al proceso y también trazar unos planes de mejora de acuerdo a un modelo/estándar de calidad definido.
- Un modelo de medida liviano, **Agile SPI – MLM - PDS**, que permite medir: el desempeño del proceso en los proyectos en los cuales es aplicado, mejorar las estimaciones de los proyectos a través de la medida del esfuerzo, la capacidad de éste y la mejora del proceso en el marco de un programa SPI.
- Un marco conceptual y tecnológico para la definición, visualización y aplicación de procesos, **Agile SPI – Framework**. Este marco conceptual se basa en el

metamodelo SPEM – Software Process Engineering Metamodel [97], y este marco es la base conceptual sobre la cual se soportan todos los modelos de Agile SPI y las herramientas de soporte. Agile SPI – Framework permite relacionar los elementos del proceso con los elementos del modelo de calidad, con el modelo de evaluación y con el modelo de medida; [p.ej., el concepto disciplina es un elemento separador de áreas del proceso y con base en este concepto se definen las estructuras de todos los componentes de Agile SPI].

3.3 Método de Trabajo

El modelo **MLM – PDS** conserva una estructura sencilla que facilita una adecuada comprensión de los elementos más importantes a tener en cuenta para la definición de las medidas, teniendo en cuenta que éstas deben basarse en objetivos de medición claros y siguiendo las necesidades de la organización. El método de trabajo utilizado para la definición de medidas está basado en el método MMLC (Measure Model Life Cycle) [100], el cual consta de diversas fases que van desde la identificación de los objetivos y las hipótesis de trabajo hasta la aplicación de las medidas.

El presente trabajo hace uso de algunas de las etapas de éste método:

- La etapa de identificación de la medida, donde se definen los objetivos y las hipótesis de la medición,
- La etapa de creación en donde se realiza la definición de la medida, y se hace uso de la etapa de validación teórica que para este trabajo no se realiza debido a que las medidas utilizadas ya se encuentran validadas [113] y se toman como referente trabajos publicados por el SEI³⁰ y la Revisión del estado del arte de la medición [114][115], y finalmente
- La etapa de validación empírica, la cual se realizará en una MiPyME mediante la aplicación de un caso de estudio y encuestas.

A continuación se hace una descripción de las etapas que se llevan a cabo para obtener el Modelo Liviano de Medidas **MLM – PDS**.

Identificación. En esta etapa, como se mencionó anteriormente, se definen los objetivos de la medida y se plantean las hipótesis de cómo se llevará a cabo la medición. Sobre los elementos de esta etapa (objetivos e hipótesis) se basarán todas las etapas siguientes. Como resultado de esta etapa se generan los requisitos que debe cumplir la medida. Los objetivos indican lo que se pretende conseguir con la utilización del proceso de medición y representan la razón por la que se llevará el

³⁰ SEI: Software Engineering Institute.

proceso de medición (el “porqué”). Las hipótesis son la forma en la que se pretende llevar a cabo la medida (el “cómo”), identificando la información que se debe manejar para conseguir alcanzar los objetivos deseados.

Creación. Como se ha mencionado anteriormente, en esta etapa se llevará a cabo el proceso de definición; la cual debe realizarse considerando las características del proyecto, proceso ó producto que se desea medir y la experiencia de los profesionales. Es recomendable conseguir esta definición considerando objetivos claros. Es deseable que la definición de las medidas se realice de manera formal para evitar ambigüedades. Para ello este trabajo utiliza el mecanismo basado en GQM (Goal-Question-Metric) [101][103][104].

Validación teórica. El objetivo principal de la validación teórica es demostrar que la medida evalúa el atributo que pretende medir, es decir, comprobar si la idea intuitiva acerca del atributo que está siendo medido se refleja en la medida. Además la validación teórica proporciona información relacionada con las escalas de las medidas y así se puede determinar que tipo de operaciones matemáticas se pueden aplicar a la hora de analizar los valores de las medidas en estudios empíricos. No existe un estándar para la validación teórica a través del cual obtener la información matemática de las medidas definidas [104]. Sin embargo, las medidas utilizadas para la construcción de este modelo ya han sido validadas teóricamente, por lo cuál esta fase no aplica en el desarrollo del presente trabajo, pero estas medidas han sido refinadas a partir de los resultados obtenidos de los casos de estudio y de comprobaciones y revisiones realizadas después de concluida la construcción del modelo. Este ajuste a las medidas del modelo se realizó en el momento en que se obtuvieron resultados de la aplicación del **MLM - PDS**, y nuevamente se realizó la revisión de la validación teórica existente.

Validación empírica. El objetivo de esta etapa es probar la utilidad práctica de las medidas propuestas. El saber general, la intuición o la especulación, no son fuentes fiables de conocimiento [105] por lo que es necesario realizar validaciones empíricas con las medidas. La validación empírica se utiliza para obtener información objetiva sobre la utilidad de las medidas propuestas ya que puede que una medida sea correcta desde un punto de vista formal, pero no tener relevancia práctica para un problema determinado. Así pues, el estudio empírico resulta necesario para comprobar y entender las implicaciones de las medidas de productos, proyectos y procesos. La validación empírica para este caso es la aplicación del modelo en una MiPyME mediante un caso de estudio y encuestas realizadas.

Aplicación. En esta etapa se utiliza la medida en el entorno real. Para este caso es la aplicación del Modelo Liviano de Medidas en un caso de estudio en una MiPyME.

3.4 Mecanismo de Definición de las Medidas

La definición de las medidas es un paso de gran importancia y debe realizarse considerando las características del proyecto, proceso ó producto que se desea medir y la experiencia de los profesionales. Es recomendable conseguir esta definición de una

forma metodológica, considerando objetivos claros. La definición de la medida debe estar orientada al objetivo para evitar obtener una definición de la medida que no cumple con el objetivo deseado.

Es deseable que la definición de la medida se realice de manera formal para evitar ambigüedades. Para iniciar, los objetivos, las hipótesis planteadas y las características de la entidad software nos conducen a la identificación de la medida, tal como lo ilustra la Figura 12.

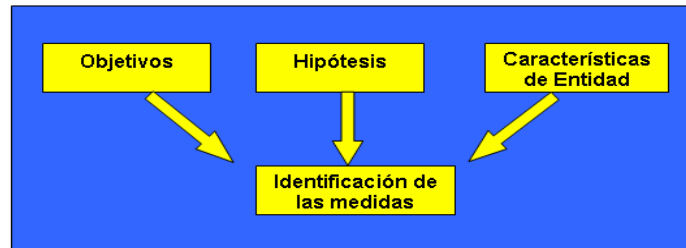


Figura 12. Primer Paso para la definición de medidas

Para la Definición de las medidas, es recomendable hacerlo de una forma metodológica, considerando objetivos claros de medición. La definición de la medida debe estar orientada al objetivo para evitar obtener una medida que no cumple con el objetivo deseado. Para este trabajo, se utiliza el mecanismo basado en GQM propuesto por Basili, Weiss y Rombach [101][103].

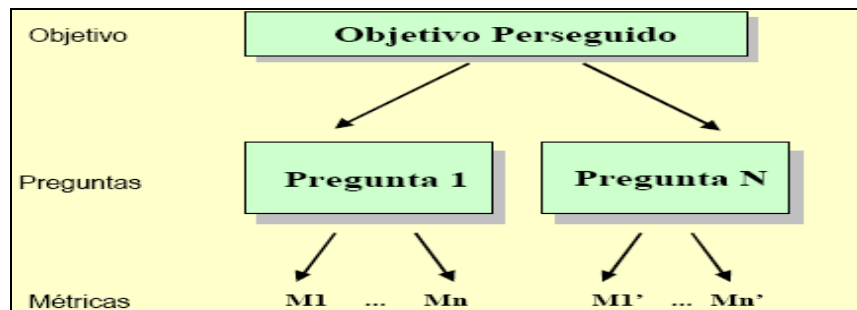


Figura 13. Esquema de GQM para la definición de medidas

Para definir claramente el objetivo que se quiere alcanzar con las medidas propuestas se ha utilizado el método GQM. La siguiente tabla muestra de manera mas explicita el objetivo definido anteriormente.

OBJETIVO (Goal)	
Analizar	La mejora de Procesos de Desarrollo Software
Con el propósito de	Evaluar (Valorar) El impacto en la Organización
Con respecto a	El proyecto de desarrollo software, el proceso y los productos

	software
Desde el punto de vista de	El grupo de mejora de Procesos
En el contexto de	Un Proyecto de Mejora de Procesos de Desarrollo Software en una MiPyME.

Tabla 8. Definición del objetivo

A la hora de definir cada una de las medidas del Modelo Liviano de Medidas **MLM – PDS** se han considerado las entidades software proyecto, proceso y producto para fundamentar este trabajo, que establecen el alcance de las medidas desarrolladas: **Medidas a Nivel de Proyecto**, a **Nivel de Proceso** y a **Nivel de Producto de trabajo**. En el último ítem de este capítulo se presentan las medidas definidas de acuerdo a esta clasificación.

3.5 Integración Conceptual del Modelado y la Medición del Proceso

Con la ontología de medición de software adoptada para la realización del presente trabajo, la cuál ha sido adaptada, se establecen y clarifican los conceptos y relaciones relevantes relacionados con la medición de las entidades software (proyecto, proceso y producto), a partir de los cuales se puede definir la información necesaria que hay que recoger y establecer para llevar a cabo un proceso de medición adecuado y efectivo. Además ésta, proporciona una forma de comunicación en una empresa en el contexto de sus procesos de medición, basada en el uso de una terminología común, lo que facilita no sólo el entendimiento entre miembros del equipo responsables de realizar dichas actividades de medición, sino también la posibilidad de registrar los resultados de dicho proceso de una forma consistente e integrada. [Ver detalles de la adaptación de la Ontología en Anexo 6: Ontología de medición de Software].

Para poder evaluar los procesos software, teniendo en cuenta el marco ontológico, en el contexto del presente trabajo, es necesario establecer una relación entre conceptos del dominio de los procesos y conceptos del modelo de la medida. En la Figura 14 se representa en UML dicha relación:

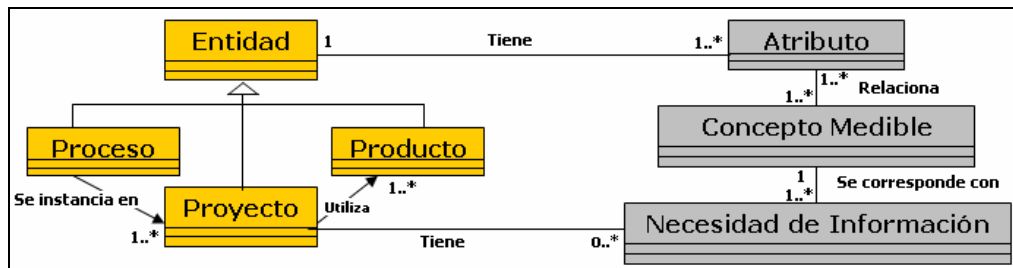


Figura 14. Relación entre la Ontología de la Medición y la Ontología del proceso en UML

Como se puede observar en la Figura 3, las principales categorías de la entidad identificadas para la medición son: los procesos, los proyectos y los productos de trabajo que se utilizan o se producen como resultado de llevar a cabo un proyecto. Las

categorías identificadas permiten realizar una medición del SPI a tres niveles de abstracción: a **nivel de proceso**, mediante la medición de los factores asociados a los procesos organizacionales y de desarrollo y a **nivel de proyecto** mediante la medición de los proyectos, y de los recursos humanos (definidos como roles de proceso) y a **nivel de productos** de trabajo relacionados con cada proyecto.

Por lo tanto, el Modelo Liviano de Medidas **MLM – PDS** proporciona el soporte necesario para la medición de los elementos fundamentales necesarios para la evaluación de los procesos de mejora SPI, destacando especialmente los siguientes:

- **Proyectos.** La medición de un proyecto constituye el elemento principal sobre el que se basa el estudio de las medidas del proceso software. Cuando se mide el proyecto el objetivo fundamental que se pretende es el de reducir el coste total del proyecto, y el tiempo de desarrollo del mismo. El primer tipo de medidas de proyectos software pueden ser obtenidas durante la fase de estimación. Las medidas recopiladas de proyectos anteriores se utilizan como la base a partir de la cual se realizan las estimaciones del esfuerzo y del tiempo necesario para el proyecto actual.
- **Procesos Software.** Mediante la definición de medidas sobre los elementos importantes del proceso, como las Actividades, Productos de Trabajo, Realizadores del Proceso, etc. Estos elementos tienen atributos que se pueden medir cuantitativamente para obtener valores que se puedan interpretar y generar información importante para la organización.
- **Productos de Trabajo.** El producto es un factor fundamental en la calidad del proceso. Los productos de trabajo son el resultado de la ejecución de las distintas actividades del proceso (finales o intermedias). Su medición es necesaria para evaluar la calidad de los procesos, y existen una gran diversidad de propuestas relacionadas con la medición del producto. Con el modelo propuesto es posible evaluar la calidad de los productos o artefactos y relacionarlos ó integrarlos con medidas tomadas de las otras entidades software.

3.6 Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software

Actualmente existe una proliferación de medidas que pretenden satisfacer las distintas necesidades de información a distintos niveles de la organización, todas estas enfocadas en diversos aspectos, técnicos, financieros, de calidad, infraestructura entre otros [106].

El presente trabajo presenta un Modelo Liviano de Medidas en el que se seleccionan medidas que intentan resolver las distintas necesidades de información de la organización a tres niveles; a nivel de proyecto enfocándose en la cartera de proyectos de la empresa, el tiempo, costo y esfuerzo implicado para su desarrollo; a nivel de procesos teniendo en cuenta aspectos como los flujos de trabajo en relación con las entradas y salidas de los procesos, los objetivos de satisfacción del cliente (tanto

internos como externos), para dirigir la ejecución de los procesos, el desarrollo de las actividades de mejora con los actores del proceso, es decir que existan los roles para la realización de éstas actividades y la realización de los productos de trabajo que se han establecido para cada uno de estos y a nivel de producto, en relación con la calidad del producto generado por el proceso.

Existen diversas definiciones acerca de mejora de procesos, muchas de ellas implícitamente involucran aspectos relacionados con la gestión de proyectos, por lo cual para el presente trabajo se toman definiciones de investigaciones y trabajos desarrollados internacionalmente basados en estos aspectos, se analizan las diferentes perspectivas y según estas se establece una definición general que es la base del Modelo Liviano de Medidas MLM –PDS y sobre la cuál se desglosan los objetivos para un proyecto SPI en una organización.

Un proyecto es un esfuerzo temporal emprendido para crear un producto o un servicio único. Así, el resultado final buscado puede diferir con la misión de la organización que la emprende, ya que el proyecto tiene determinado específicamente un plazo y el esfuerzo es temporal [107].

Cuando se habla de un proyecto SPI, se hace referencia a un proyecto que busca la mejora desde dos perspectivas, la mejora de los procesos software de la organización y la mejora de los productos que son producto de trabajo de dichos procesos. Un proyecto SPI implica también la mejora de proyectos ya existentes en la empresa, lo cual involucra necesariamente gestionar esos proyectos adecuadamente. La gestión de proyectos, según definición del Project Management Institute [107], es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto para satisfacer los requisitos del proyecto.

El objetivo de mejora de un proceso según [108] es mejorar continuamente la productividad del proceso, midiendo ésta en términos de eficacia y calidad; un proceso eficaz es aquél que produce sistemáticamente los resultados correctos, y un proceso de calidad es aquél que produce resultados que siempre funcionan.

Según la perspectiva CMMI la mejora de procesos es la optimización del proceso de desarrollo que se refiere a implantar la metodología de desarrollo que mejor se adecue a sus objetivos de negocio y tecnológicos, entendida esta, como el conjunto de actividades, roles, herramientas y flujos de trabajo necesarios para la correcta gestión de su ciclo de vida de desarrollo software, de principio a fin.

La mejora de procesos Software según [109] busca proporcionar a las organizaciones las pautas de actuación necesarias para obtener mejoras observables en su proceso de desarrollo, de manera que desarrollen productos sin defectos respetando requisitos, fechas y costes.

“Un programa de mejora es un proyecto continuo que conduce el mejoramiento de los procesos de software de una organización y es responsabilidad directa de la Alta Dirección. Se dice que es un proyecto continuo porque tiene un inicio pero no tiene un fin. Esto es debido a que un programa de mejora está constituido por ciclos de mejora

y cada ciclo por fases, es decir, es un proyecto con ciclo de vida iterativo e incremental " [110].

Según esta definición se debe tener claro que mejoramiento de un proceso, hace referencia a: "El esfuerzo continuo para saber acerca del sistema de causas en un proceso y para usar este conocimiento en el cambio y mejora del proceso y de esa manera reducir su variación, complejidad y mejorar la satisfacción del cliente" [111].

Como resultado del análisis de las anteriores definiciones, para el presente trabajo se define la mejora de procesos software como un esfuerzo que se debe planear, gestionar y controlar cuyo objetivo general es mejorar la capacidad de desarrollo software de una organización. De acuerdo a esto, la Mejora de Procesos Software pretende mejorar algunos de los siguientes aspectos: incremento de la productividad, mejora en la calidad, adecuación a estándares del proceso software, mejora en la satisfacción del cliente y mejora en la percepción del proceso al interior de la organización.

De los enunciados citados anteriormente, y de la abstracción realizada, se han obtenido los siguientes objetivos específicos, los cuales serán utilizados para establecer las hipótesis, preguntas y sus respectivas medidas asociadas.

3.5.1 Definición de los objetivos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- O1** Lograr los objetivos del Proceso mediante la provisión de los recursos suficientes y calificados a la organización.
- O2** Proporcionar a la organización y a cada uno de los procesos con individuos que poseen las habilidades y conocimientos necesarios para realizar sus roles eficazmente y trabajar juntos como equipo cohesivo.
- O3** Lograr que los productos de salida sean consistentes con los productos de entrada en cada fase del proceso mediante las actividades de verificación, validación o prueba.
- O4** Lograr una mejora de procesos disciplinada y objetiva mediante el cumplimiento de las actividades, responsabilidades y la generación de los productos de trabajo definidos por el proyecto de mejora.
- O5** Alcanzar las metas de mejora establecidas para el proyecto de mejora de acuerdo a los objetivos del negocio.
- O6** Lograr la satisfacción del cliente supervisando la calidad de los productos y servicios en el nivel organizativo y del proyecto para asegurar que se reúnen los requisitos del cliente.

O7 Proveer a la organización de los medios y mecanismos adecuados para el uso y resguardo de la información de los productos generados en sus procesos, de forma confiable, oportuna y segura mediante la base del conocimiento.

O8 Definir y planificar las actividades de definición, implantación y mejora de los procesos mediante el plan de mejora de procesos y llevarlas a cabo en función del mismo.

3.5.2 Definición de las hipótesis

H1 ¡El proyecto de mejora incrementa la capacidad de los procesos software!

H2 ¡El proyecto de mejora establece la provisión de recursos suficientes y calificados a la organización para lograr los objetivos de sus procesos!

H3 ¡El proyecto de mejora asegura la conveniencia de los procesos estándares de la organización!

H4 ¡El proyecto de mejora asegura la consistencia de los productos de trabajo de los procesos de la organización!

H5 ¡El proyecto de mejora establece la gestión del proyecto de desarrollo software dentro de la organización!

H6 ¡El proyecto de mejora establece los roles y las disciplinas necesarias para llevar a cabo la mejora de los procesos de la organización!

H7 ¡El proyecto de mejora logra incrementar la satisfacción del cliente!

3.5.3 Preguntas asociadas a las hipótesis

La Tabla 9 define las preguntas relacionadas a las hipótesis y se muestran la propuesta de medidas para el MLM - PDS:

	Preguntas	Hipótesis
P1	¿Cómo influye el proyecto SPI en la mejora de la capacidad de los procesos software?	H1
P2	¿Cómo influye el proyecto SPI en la provisión de recursos suficientes y calificados a la organización para lograr los objetivos de sus procesos?	H2
P3	¿Cómo influye el proyecto SPI en la determinación de la conveniencia de los procesos estándares de la organización?	H3
P4	¿Cómo influye el proyecto SPI en asegurar la consistencia de los productos de trabajo de los procesos de la organización?	H4
P5	¿Cómo influye el proyecto SPI en la gestión del proyecto de desarrollo software dentro de la organización?	H5

P6	¿Cómo aporta el proyecto SPI las disciplinas de trabajo necesarias para llevar a cabo la mejora de los procesos de la organización?	H6
P7	¿Cómo influye el proyecto SPI en la satisfacción del cliente?	H7

Tabla 9. Preguntas relacionadas a las hipótesis

3.5.4 Definición de Medidas Base y Derivadas

El **MLM – PDS** establece tres tipos de medidas definidas según la Ontología de Medición de Software que se utiliza como referente para la construcción de este modelo; las cuales son: Medidas Base, Medidas Derivadas e Indicadores.

A continuación se presentan la definición de las medidas, las cuales están orientadas hacia los objetivos de la mejora de procesos software definidos anteriormente en este documento. De esta manera y teniendo como base la metodología de medición Goal Question Metric GQM [111], se han establecido los objetivos de mejora de procesos, las hipótesis asociadas a estos objetivos y las preguntas que responden a estas; ahora se establecen las medidas asociadas satisfacer las necesidades de información respecto a los objetivos de mejora planteados, estas se presentan en la siguiente Tabla (Ver Tabla 10), la forma como se organizan las medidas es: En la columna ¿Qué mide? se establece la entidad que mide y el atributo de dicha entidad software; en la columna ¿Cómo lo mide? Se indica la medida, su descripción y el tipo de medida y la escala de cada medida.

¿Que Mide?		¿Cómo lo Mide?			
Entidad	Atributo	Medida	Descripción	Tipo	Escala
Proceso	Tiempo	TTD	Tiempo Total de Desarrollo del Proceso.	Base	Horas
Proceso	Tiempo	TTFIP	Tiempo Total de Desarrollo la Actividad i del Proceso.	Base	Horas
Proceso		EA	Esfuerzo Necesario por Actividad	Indicador	Horas/empleado
Proyecto		EPROY	Esfuerzo Necesario por Proyecto	Indicador	Horas/empleado
Proceso		EPROC	Esfuerzo Necesario por Proceso	Indicador	Horas/empleado
Producto	Tiempo	TPT	Tiempo para desarrollar una Producto de Trabajo.	Base	Horas
Proyecto	Calidad	Productividad de la mejora de procesos	Procesos mejorados/ unidad de tiempo.	Derivada	Ratio (Conjunto de medidas expresadas en intervalo)
Proceso	Calidad	Productividad de la mejora	Actividades del proceso	Derivada	Ratio

		de un proceso	mejoradas / unidad de tiempo.		
Proyecto	Calidad	NPMP	Numero de Procesos Mejorados durante el proyecto.	Base	Ratio
Proceso	Calidad	NC	Numero de No Conformidades del Producto (s) de la Actividad Nueva o Mejorada	Base	Ratio
Proceso	Calidad	NC/ NANA (*)	Calidad del producto entregado y probado (QP).	Derivada	Ratio
Proceso	Tamaño	NAP (*)	Numero de Actividades del Proceso.	Base	Ratio
Proyecto	Tamaño	NPM	Numero de Procesos Mejorados	Base	Ratio
Proceso	Tamaño	NPTFp	Numero de Productos de Trabajo para la Actividad i del proceso involucrado en el programa SPI.	Base	Ratio
Proyecto	Costo	Costo por Proyecto de Mejora	Provee una vista al gestor del proyecto del costo actual asociado a los objetivos del proyecto de mejora y la comparación con el costo estimado originalmente.	Indicador	Ratio
Proyecto	Tiempo	IFE	Exactitud de la entrega de producto final en términos de la fecha prevista.	Indicador	Ratio
Producto	Calidad	GCECP	Grado de cumplimiento de las especificaciones del cliente respecto del PT (*) por proceso.	Base	Ratio
Producto	Calidad	GCECF	Grado de cumplimiento de las especificaciones del cliente respecto del PT (*) por actividad.	Base	Ratio
Producto	Calidad	PTCCF	Numero de Productos de Trabajo que cumplen con cronogramas establecidos por proceso.	Base	Ratio
Proceso	Calidad	PTCCF	Numero de Productos de Trabajo que cumplen con cronogramas establecidos por actividad.	Base	Ratio

Proyecto	Calidad	Satisfacción del cliente	GCECP/ PTCCF	Derivada	Ratio
Proyecto	Calidad	GPP_SPI	Grado en que el proyecto SPI se planea.	Base	Ratio
Proyecto	Calidad	GMP_SPI	Grado en que el proyecto SPI se monitorea.	Base	Ratio
Proyecto	Calidad	GECM_PT	$PTE*0.5 + PTC*0.5$	Derivada	Ratio
Proceso	Calidad	PTE	Productos de Trabajo Establecidos.	Base	Ratio
Proceso	Calidad	PTC	Productos de Trabajo Controlados.	Base	Ratio
Proyecto	Tamaño	NPA	Numero de Procesos actuales de la Organización.	Base	Ratio
Proyecto	Tamaño	NPB	Numero de Procesos Beneficiados con la Mejora SPI.	Base	Ratio
Proceso	Tamaño	NAB	Numero de Actividades Nuevas y/o Mejoradas.	Base	Ratio
Proceso	Tamaño	NA_AM	Numero de Actividades antes de la mejora SPI.	Base	Ratio
Proyecto Proceso	Tamaño	NPTN	Numero de Productos de Trabajo definidos por la mejora SPI.	Base	Ratio
Proyecto Proceso	Tamaño	NPT_AM	Numero de Productos de Trabajo antes de la mejora SPI.	Base	Ratio
Proyecto Proceso	Costo	RU_SPI	Recursos Utilizados por el proceso durante el programa SPI.	Indicador	Ratio
Proyecto Proceso	Costo	RA_SPI	Recursos Asignados para el programa SPI.	Indicador	Ratio
Proyecto	Calidad	NOM_AM	Numero de Objetivos de mejora establecidos al inicio de la mejora SPI.	Base	Ratio
Proyecto	Calidad	NOM_LSPI	Numero de Objetivos de mejora alcanzados con la mejora SPI.	Base	Ratio

Proyecto Proceso Actividad	Tamaño	IC	Determina la cantidad de elementos cubiertos por un proceso, proyecto o programa de mejora.	Indicador	Ratio
	Tamaño	CP	Determina la cantidad de procesos beneficiados con el proyecto de mejora en relación con el número total de procesos de la empresa.	Indicador	Ratio
	Tamaño	CA	Determina la cantidad de actividades beneficiadas con el proyecto de mejora en relación con el número total de actividades de un proceso de la empresa.	Indicador	Ratio
	Tamaño	CPT	Determina la cantidad de productos de trabajo definidos o mejorados con el proyecto de mejora en relación con el número total de productos de trabajo antes de la mejora.	Indicador	Ratio
	Calidad	IE	Cumplir con los Requisitos definidos en cuanto a la utilización de recursos y en cuanto a tiempo.	Indicador	Ratio
	Calidad	ER	Grado de cumplimiento de los Requisitos definidos en cuanto a la utilización de recursos de la empresa.	Indicador	Ratio
	Calidad	ET	Grado de cumplimiento de los Requisitos definidos en cuanto al tiempo de los empleados de la empresa.	Indicador	Ratio
	Calidad	IF	Permite identificar la relación que existe entre los objetivos alcanzados, tiempo y recursos consumidos con respecto a un plan establecido. Buen uso de los recursos.	Indicador	Ratio
	Calidad	IEZ	Permite identificar la relación que existe entre los objetivos alcanzados, tiempo y recursos consumidos con respecto a un	Indicador	Ratio

			plan establecido.		
	Calidad	IQ	Están orientados a medir la satisfacción de los beneficiarios, estos pueden ser: el cliente interno ó externo ó la empresa.	Indicador	Ratio
	Calidad	IPT	Este indicador está orientado a revisar si los documentos establecidos para el proceso se están generando realmente.	Indicador	Ratio

Tabla 10. Propuesta de medidas evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software

- (*) **NANA**= Numero de Actividades Nuevas o Mejoradas del proceso
IFE= Indicador de fechas de Entrega
PT= Producto de Trabajo
GECM_PT= Grado de establecimiento, control y mantenimiento de los productos de trabajo

3.5.5 Definición e Interpretación de las medidas de Tipo Indicador Genérico

Con el fin de expresar los resultados finales obtenidos de las medidas de los elementos importantes identificados en el **MLM – PDS**, se presenta a continuación la descripción de las medidas de tipo indicador utilizadas en la evaluación, estas medidas están orientadas a los resultados del proyecto de mejora SPI; en este ítem también se indica la forma adecuada de interpretar dichos indicadores.

Los indicadores Genéricos son de tipo desempeño, básicamente adoptan la forma de cociente, en el cual, el denominador es un valor numérico que ayuda a efectuar la comparación con el logro obtenido así:

$$\text{Indicador} = \left(\frac{\text{Numerador}}{\text{Denominador}} \right) * \text{Factor Escala}$$

De esta forma se definen los siguientes modelos de indicadores que se deben personalizar y aplicar a los roles, productos de trabajo y actividades, dependiendo del contexto del objetivo que está siendo evaluado:

Cabe resaltar que los datos para calcular estos indicadores son los datos registrados en la tabla de medidas (Ver Anexo 8), estos datos pueden ser evaluados en cualquier fase del proyecto de mejora SPI para calcular el desempeño en cualquier momento de dicho proyecto.

1. **Indicador de Cobertura (IC):** Determina la cantidad de elementos cubiertos por un proceso, proyecto o programa de mejora.

$$\text{Cobertura de Procesos (CP)} = \left(\frac{\text{No. de Procesos Beneficiados con la mejora SPI}}{\text{No. de Procesos de la organización}} \right) * 100$$

$$\text{Cobertura de actividades (CA)} = \left(\frac{\text{No. de Actividades nuevas y/o mejoradas con el programa SPI}}{\text{No. de Actividades antes de la mejora}} \right) * 100$$

$$\text{Cobertura Productos de trabajo (CPT)} = \left(\frac{\text{No. de Productos de Trabajo definidos o mejorados con el programa SPI}}{\text{No. de Productos de Trabajo antes de la mejora}} \right) * 100$$

Nota: El Indicador de Cobertura de Actividades, puede variar dependiendo del modelo ó referente de calidad que se tenga, por ejemplo: Si se hace uso del modelo de referencia de procesos MoPROSOFT se habla de Actividades, en cambio si se toma como referente el modelo de calidad de CMMI se cambia el término Actividades por Subprácticas. En este sentido se puede apreciar la adaptabilidad del MLM – PDS ya que es independiente del referente de calidad que se utilice en la empresa.

2. **Indicador de Eficacia (IE):** Cumplir con los Requisitos definidos en cuanto a la utilización de recursos y en cuanto a tiempo.

$$ER = \left(\frac{\text{Recursos Utilizados}}{\text{Recursos Asignados}} \right) * 100$$

$$ET = \left(\frac{\text{Tiempo Utilizado}}{\text{Tiempo Asignado}} \right) * 100$$

3. **Indicador de Eficiencia (IF):** Permite identificar la relación que existe entre los objetivos alcanzados, tiempo y recursos consumidos con respecto a un plan establecido. Buen uso de los recursos.

$$\text{Eficiencia} = \left(\frac{\text{Objetivos de Mejora Alcanzados}}{\text{Recursos Consumidos}} \right) * 100$$

4. **Indicador de Calidad (IQ):** Están orientados a medir la satisfacción de los beneficiarios, estos pueden ser: el cliente interno ó externo ó la empresa.

Nota: Para hacer uso de este Indicador es necesario tomar los datos de las encuestas, es decir la información registrada en la tabla de medidas (Ver Anexo 8) con respecto a las medidas relacionadas con la satisfacción del cliente en cuanto al producto y proceso, estas medidas de satisfacción nos permiten observar el impacto del proceso de mejora sobre la calidad del producto y del proceso desde el punto de vista de los requisitos del cliente tanto interno como externo.

Las medidas del **MLM – PDS** asociadas a la calidad son:

IFE: Exactitud de la entrega de producto final en términos de la fecha prevista

GCECP: Grado de cumplimiento de las especificaciones del cliente respecto del PT (*) por proceso.

GCECA: Grado de cumplimiento de las especificaciones del cliente respecto del PT (*) por actividad

PTCCF: Productos de Trabajo que cumplen con cronogramas establecidos por Actividad

PTCCP: Productos de Trabajo que cumplen con cronogramas establecidos por proceso

$$IQ = (IFE * 0.2) + (GCECP * 0.2) + (GCECA * 0.2) + (PTCCF * 0.2) + (PTCCP * 0.2)$$

IQ= (Exactitud de la entrega de producto final en términos de la fecha prevista*0.2) + (Grado de cumplimiento de las especificaciones del cliente respecto del PT (*) por proceso*0.2) + (Grado de cumplimiento de las especificaciones del cliente respecto del PT (*) por Actividad*0.2) + (Productos de Trabajo que cumplen con cronogramas establecidos por Actividad*0.2) + (Productos de Trabajo que cumplen con cronogramas establecidos por proceso*.02)

Interpretación del Resultado de IQ:

Si el valor de $0 < IQ < 0.33$

Si el valor de $0.33 < IQ < 0.67$

Si el valor de $0.67 < IQ \leq 1$

5. **Indicador de Productos de Trabajo (IPT):** Este indicador está orientado a revisar si los documentos establecidos para el proceso se están generando realmente.

$$\text{Productos de Trabajo} = \frac{\text{Número de Productos elaborados}}{\text{Número de Productos a generar}}$$

6. **Indicador de Esfuerzo (IEZ):** Permite identificar la relación que existe entre los objetivos alcanzados, tiempo y recursos consumidos con respecto a un plan establecido.

Con el objeto de estimar el esfuerzo esperado frente al esfuerzo real del proceso y el cumplimiento de los productos de trabajo esperados frente a los realmente generados, estos últimos asociados con los objetivos del proceso, proyecto de mejora o actividad de un proceso.

Para calcular el esfuerzo se debe listar:

- Los productos de trabajo a construir;
- A cada uno se le debe asignar el número de responsables,
- A cada uno se le debe asignar el tiempo de dedicación y tiempo programado para realizar el producto de trabajo

Finalmente al obtener estos datos, se puede calcular el esfuerzo (para una actividad, un proceso ó un proyecto (horas-persona)).

En la siguiente tabla se muestra la estructura que puede utilizar para calcular estos valores, cabe mencionar que la misma tabla se puede utilizar para estimar el esfuerzo antes del programa de mejora, durante su ejecución y una vez finalizado el mismo.

Numero de Productos de Trabajo	Numero de personas responsables	Horas de dedicación (h / sem)	Proporción (Horas de dedicación/40)	Tiempo Programado TP(Sem)	Esfuerzo Estimado ó Dedicado (Proporción*TP)

Tabla 11. Cálculo de Esfuerzo

Luego con los siguientes indicadores se puede establecer durante la ejecución del programa de mejora ó al final del mismo, en qué grado se cumplió lo estimado para el programa de mejora.

Para calcular el indicador de los productos de trabajo se utilizó **IPT**:

$$\text{Productos de Trabajo} = \frac{\text{Número de Productos elaborados}}{\text{Número de Productos a generar}}$$

Y para el esfuerzo **IEZ**:

$$\text{IEZ} = \frac{\text{Esfuerzo Realizado}}{\text{Esfuerzo Estimado}}$$

El Esfuerzo Estimado y el Esfuerzo Realizado se calculan haciendo uso de la Tabla 11. Cálculo de Esfuerzo, ésta ayuda en el cálculo del esfuerzo independiente de la fase en que se encuentre el programa de mejora.

Estos indicadores que pertenecen al **MLM – PDS**, permiten evaluar adecuadamente el nivel de cumplimiento de cada uno de los objetivos identificados para un proyecto de mejora de procesos de desarrollo software y establecer el grado de cumplimiento del esfuerzo estimado frente al esfuerzo realizado.

3.5.6 Definición e Interpretación de Indicadores Orientados a los Objetivos de Mejora de Procesos SPI

Para obtener valores cuantitativos de los elementos involucrados con la mejora de procesos de desarrollo software, tales como actividades, productos de trabajo, esfuerzo, recursos, entre otros, se debe tener además de la tabla de medidas (Ver Anexo 8) un formulario de recolección de información general (Ver Anexo 7) que permita evaluar cualquiera de los procesos incluidos dentro de un proyecto de mejora de procesos. A modo de ejemplo en la figura 14 se presenta el instrumento de recolección de información desarrollado por el **MLM – PDS** para recolectar la información necesaria para evaluar la mejora de procesos.

Como se puede observar en la tabla 12 el formulario tiene una estructura sencilla, además es importante resaltar que cada uno de los elementos, están siendo evaluados por medio de una serie de preguntas; con el fin de tener mayor información sobre la realización de las actividades, productos y roles al interior de la organización.

El valor de las medidas de los elementos asociadas a los procesos realizados o llevados a cabo por la organización, se obtiene a partir de éste instrumento de recolección de información, como se explica a continuación; cada actividad tiene un grado de realización, al cual se le asigna un valor así:

- ***Nunca Implementado NI.***
A este grado de realización se le asigna el valor de 0
- ***Casi Nunca Implementado CNI.***
A este grado de realización se le asigna el valor de 0.33
- ***Casi siempre Implementado CSI.***
A este grado de realización se le asigna el valor de 0.67
- ***Siempre Implementado SI.***
A este grado de realización se le asigna el valor de 1

1. El valor del grado de satisfacción de una pregunta es su valor numérico asociado.
2. El valor del grado del logro de un objetivo de mejora, se obtiene del calculando el valor de la medida definida para dicho objetivo, usando el valor ó grado de satisfacción de las preguntas que evalúan cada elemento.

Nombre del Proceso		Grado de Realización				Preguntas cuya respuesta contribuye al logro del Objetivo de Mejora Nro:	Comentarios ó Evidencias (Este campo es Obligatorio)
Propósito del Proceso		N I	C N I	C S I	S I		
Actividades Realizadas							
	1. ¿La empresa cuenta con herramientas para documentar, manejar y controlar los Planes de Proyecto y de Desarrollo?					Objetivo de Mejora 1	
	2. ¿Se tienen recursos suficientes para realizar las actividades?						
	3. ¿Se cuenta con la infraestructura y herramientas identificadas para realizar las actividades definidas en el proceso?						
	4. ¿Se ofrecen las facilidades para la capacitación del personal de la empresa?					Objetivo de Mejora 2	
	5. ¿Se definen los roles según los requerimientos de las actividades del proceso?						
	6. ¿Los involucrados en el proceso trabajan en armonía con su equipo de trabajo y saben quién es responsable de realizar cada una de las actividades?						
	7. ¿Se asignan las responsabilidades teniendo en cuenta las habilidades y conocimientos del personal?						
	8. ¿Se asignan los roles y se comunican sus responsabilidades de acuerdo al proceso definido?						

9. ¿Las personas asignadas a los roles cuentan con las competencias especificadas para el proceso?						
10. ¿Se realiza gestión de la configuración de los productos de trabajo?					Objetivo de Mejora 3	
11. ¿Se cuenta con herramientas para documentación y seguimiento de los productos de trabajo?						
12. ¿Se Realizan actividades de Verificación, validación o prueba de los productos de trabajo?						
13. ¿Se asignan los roles y se comunican sus responsabilidades de acuerdo al proceso definido?					Objetivo de Mejora 4	
14. ¿Se cumplen las actividades, identificadas, definidas y planificadas por el proyecto de mejora SPI?						
15. ¿Se asignan responsabilidades según los objetivos del proceso?						
16. ¿Se generan los productos de trabajo definidos por el proyecto de mejora?						
17. ¿Se incorporan a la Base de Conocimiento los productos de este proceso?					Objetivo de Mejora 7	
18. Se identifican y aprovechan las Lecciones Aprendidas?						
19. ¿Se cuenta con herramientas para documentar la información?						
20. ¿Se asegura que se consulten la Base del Conocimiento y las Lecciones Aprendidas de los otros proyectos ó procesos?						
21. ¿Los involucrados en el proceso realizan sus actividades de acuerdo al					Objetivo de Mejora 8	

proceso ajustado de acuerdo a las guías establecidas?						
22. ¿Se asignan los roles y se comunican sus responsabilidades de acuerdo al proceso definido?						
23. ¿Se realiza gestión de Procesos? Es decir, se establecen los procesos de la organización, en función de los procesos requeridos identificados.						
24. ¿Se realizan actividades como: definir, planificar, e implantar las actividades de mejora en los mismos?						
25. ¿Se cuenta con herramientas para documentación y seguimiento de planes?						
26. ¿Se realizan reportes de avance con respecto a las metas cuantitativas?						
Fase en que se encuentra el proyecto de mejora SPI						

Tabla 12. Formulario de Recolección de Información del MLM - PDS

Con los datos obtenidos del formulario de recolección de información y los valores de la tabla que el evaluador debe obtener de la información suministrada por los involucrados en el proyecto de mejora PSI, el **MLM – PDS** establece dos categorías de medidas; la primera categoría son los indicadores de tipo Genérico que son indicadores que ofrecen al administrador de proyecto información del estado del proyecto en cualquiera que sea la fase en que se encuentre el proyecto en ejecución; estos indicadores son los descritos en el ítem anterior, y la forma de calcularlo es con los datos que se registran en la tabla de medidas.

Por otro lado, el **MLM – PDS** define otro tipo de medidas asociadas cada uno de estos a los objetivos de mejora establecidos anteriormente. A continuación se presentan estas medidas que se pueden analizar como indicadores del grado en que se alcanza un objetivo de mejora y una posible manera de interpretarlos que intenta orientar al evaluador en la lectura de los resultados. En las tablas también se presenta la manera correcta de calcular los valores de los indicadores y la forma de obtener la información y los datos para calcularlos.

<p>O1 Lograr los objetivos del proceso mediante la provisión de los recursos suficientes y calificados a la organización.</p>
<p>Interpretación:</p> <p>Este indicador se refiere al grado en que la adecuada y suficiente provisión de recursos, y el grado en que dichos recursos sean calificados para la empresa aporten al logro de los objetivos del proceso que ha sido involucrado en el programa SPI.</p>
<p>Se debe calcular el valor PROF de la siguiente manera:</p> <p>PROF: Peso de los Resultados obtenidos del Formulario de Recolección de la Información. Este valor es necesario para calcular el indicador.</p> <p style="text-align: center;">PROF = 1 / Numero de Resultados utilizados para este Objetivo</p>
<p>Forma de Obtener el Valor del Indicador:</p> <p>Para obtener este valor se requieren de la información registrada en el Formulario de Recolección de la Información. El Número de Resultados para este Objetivo es 3. Los resultados que usted debe tener en cuenta para calcular este valor de indicador son los resultados de las preguntas 1, 2 y 3 del Formulario de Recolección de Información.</p> <p style="text-align: center;">Valor del Indicador (I1) = (Resultado Pregunta1 + Resultado Pregunta 2 + Resultado Pregunta3) * PROF</p> <p>Tenga en cuenta que si se esta aplicando este formulario a varias personas involucradas en el proceso, el valor del indicador debe ponderarse haciendo uso de la fórmula (1):</p> <div style="text-align: center;"> $\frac{\sum_{i=1}^n \text{Valor del Indicador}}{\text{Numero de personas a quienes se aplicó el Formulario}}$ </div> <p>Fórmula (1): Valor del Indicador =</p> <p>Donde:</p> <p>Valor del indicador i: indica el valor obtenido anteriormente para cada formulario.</p> <p>n: es el número de personas que respondieron el Formulario de Recolección de la Información.</p>

Tabla 13. Medida asociada al Objetivo de Mejora 1

O2 Proporcionar a la organización y a cada uno de los procesos con individuos que poseen las habilidades y conocimientos necesarios para realizar sus roles eficazmente y trabajar juntos como equipo cohesivo.

Interpretación:

Se refiere al grado en que los procesos cuentan con individuos capacitados para realizar las actividades que el proceso requiere, involucra también el grado de realización de actividades definidas, según los roles definidos y si estos roles están siendo definidos y comunicados, la comunicación entre miembros de la organización.

Se debe calcular el valor PROF de la siguiente manera:

PROF: Peso de los Resultados obtenidos del Formulario de Recolección de la Información. Este valor es necesario para calcular el indicador.

$$\text{PROF} = 1 / \text{Numero de Resultados utilizados para este Objetivo}$$

Forma de Obtener el Valor del Indicador:

Para obtener este valor se requieren de la información registrada en el Formulario de Recolección de la Información. El Número de Resultados para este Objetivo es 6. Los resultados que usted debe tener en cuenta para calcular este valor de indicador son los resultados de las preguntas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 del Formulario de Recolección de Información.

$$\text{Valor del Indicador (I2)} = (\text{Resultado Pregunta4} + \text{Resultado Pregunta 5} + \text{Resultado Pregunta6} + \text{Resultado Pregunta7} + \text{Resultado Pregunta8} + \text{Resultado Pregunta9}) * \text{PROF}$$

Tenga en cuenta que si se esta aplicando este formulario a varias personas involucradas en el proceso, el valor del indicador debe ponderarse haciendo uso de la fórmula (1):

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Valor del Indicador}}{\text{Numero de personas a quienes se aplicó el Formulario}}$$

Fórmula (1): Valor del Indicador =

Donde:

Valor del indicador i: indica el valor obtenido anteriormente para cada formulario.

n: es el número de personas que respondieron el Formulario de Recolección de la Información.

Tabla 14. Medida asociada al Objetivo de Mejora 2

<p>O3 Lograr que los productos de salida sean consistentes con los productos de entrada en cada fase del proceso mediante las actividades de verificación, validación o prueba.</p>
<p>Interpretación:</p> <p>Se interpreta como el grado en que la organización realiza gestión de la configuración de los productos de trabajo, además de que se esté documentando y realizando seguimiento de los mismos, y que se lleven a cabo actividades de Verificación, validación o prueba de los productos de trabajo.</p>
<p>Se debe calcular el valor PROF de la siguiente manera:</p> <p>PROF: Peso de los Resultados obtenidos del Formulario de Recolección de la Información. Este valor es necesario para calcular el indicador.</p> <p style="text-align: center;">PROF = 1 / Numero de Resultados utilizados para este Objetivo</p>
<p>Forma de Obtener el Valor del Indicador:</p> <p>Para obtener este valor se requieren de la información registrada en el Formulario de Recolección de la Información. El Número de Resultados para este Objetivo es 3. Los resultados que usted debe tener en cuenta para calcular este valor de indicador son los resultados de las preguntas 10, 11 y 12 del Formulario de Recolección de Información.</p> <p style="text-align: center;">Valor del Indicador (I3) = (Resultado Pregunta10 + Resultado Pregunta 11 + Resultado Pregunta12) * PROF</p> <p>Tenga en cuenta que si se esta aplicando este formulario a varias personas involucradas en el proceso, el valor del indicador debe ponderarse haciendo uso de la fórmula (1):</p> <div style="text-align: center;"> $\frac{\sum_{i=1}^n \text{Valor del Indicador}}{\text{Numero de personas a quienes se aplicó el Formulario}}$ </div> <p>Fórmula (1): Valor del Indicador =</p> <p>Donde:</p> <p>Valor del indicador i: indica el valor obtenido anteriormente para cada formulario.</p> <p>n: es el número de personas que respondieron el Formulario de Recolección de la Información.</p>

Tabla 15. Medida asociada al Objetivo de Mejora 3

<p>O4 Lograr una mejora de procesos disciplinada y objetiva mediante el cumplimiento de las actividades, responsabilidades y la generación de los productos de trabajo definidos por el proyecto de mejora.</p>
<p>Interpretación:</p> <p>Se refiere al grado en que la organización establece y asigna los roles y responsabilidades de acuerdo a sus procesos, la realización de actividades y la asignación de responsabilidades según los objetivos del proceso, esto se traduce en una mejora disciplinada ya que se realizan las actividades definidas, hay ciertos responsables encargados de estas actividades y se generan los productos establecidos.</p>
<p>Se debe calcular el valor PROF de la siguiente manera:</p> <p>PROF: Peso de los Resultados obtenidos del Formulario de Recolección de la Información. Este valor es necesario para calcular el indicador.</p> <p style="text-align: center;">PROF = 1 / Numero de Resultados utilizados para este Objetivo</p>
<p>Forma de Obtener el Valor del Indicador:</p> <p>Para obtener este valor se requieren de la información registrada en el Formulario de Recolección de la Información. El Número de Resultados para este Objetivo es 4. Los resultados que usted debe tener en cuenta para calcular este valor de indicador son los resultados de las preguntas 13, 14, 15 y 16 del Formulario de Recolección de Información.</p> <p style="text-align: center;">Valor del Indicador (I4) = (Resultado Pregunta13 + Resultado Pregunta 14 + Resultado Pregunta15 + Resultado Pregunta16) * PROF</p> <p>Tenga en cuenta que si se esta aplicando este formulario a varias personas involucradas en el proceso, el valor del indicador debe ponderarse haciendo uso de la fórmula (1):</p> <div style="text-align: center;"> $\frac{\sum_{i=1}^n \text{Valor del Indicador}}{\text{Numero de personas a quienes se aplicó el Formulario}}$ </div> <p>Fórmula (1): Valor del Indicador =</p> <p>Donde:</p> <p>Valor del indicador i: indica el valor obtenido anteriormente para cada formulario.</p> <p>n: es el número de personas que respondieron el Formulario de Recolección de la Información.</p>

Tabla 16. Medida asociada al Objetivo de Mejora 4

O6 Lograr la satisfacción del cliente supervisando la calidad de los productos y servicios en el nivel organizativo y del proyecto para asegurar que se reúnen los requisitos del cliente.

Interpretación:

Para este Objetivo de Mejora, el **MLM – PDS** desarrolla tres indicadores, por una parte tiene en cuenta la percepción de calidad del producto y/o servicio según las especificaciones del producto de trabajo; por otra parte evalúa la calidad de los productos de trabajo a nivel de proceso, cuando se quiere analizar la mejora de un proceso como tal, y finalmente evalúa la calidad de los productos de trabajo involucrados en una actividad, este es de utilidad cuando se quiere analizar cada una de las actividades de un proceso.

Para obtener el valor de este indicador es necesario obtener datos de la tabla de medidas (Ver Anexo 8) diligenciada, debido a que este indicador se analiza teniendo en cuenta la calidad de los productos y servicios desde la percepción que el cliente interno ó involucrado con el proceso tiene de ellos y de sus productos y actividades.

Forma de Obtener el Valor de los Indicadores para este Objetivo:

Para obtener estos valores se requiere de la información registrada en la Tabla de Medidas (Ver Anexo 8).

% de la Calidad del producto entregado y probado

$$(QP) = \frac{(NC - NNC)}{NE} * 100$$

Donde:

NE: Numero de Especificaciones del Producto de Trabajo

NNC: Numero de No Conformidades del Producto de Trabajo según las especificaciones del cliente

NC: Numero de Conformidades del Producto de Trabajo según las especificaciones del cliente

$$\text{Satisfacción del cliente por Proceso} = \frac{(PTCp + GCECPp)}{PTEp}$$

Donde:

PTEp: Número de Productos de Trabajo Establecidos por Proceso.

PTCp: Número de Productos de Trabajo que cumplen con cronogramas establecidos por Proceso.

GCECPp: Número de Productos de Trabajo Controlados según las especificaciones del cliente por Proceso.

$$\text{Satisfacción del cliente por Actividad} = \frac{(\text{PTCa} + \text{GCECPa})}{\text{PTEa}}$$

Donde:

PTEa: Número de Productos de Trabajo Establecidos por Actividad.

PTCa: Número de Productos de Trabajo que cumplen con cronogramas establecidos por Actividad.

GCECPa: Número de Productos de Trabajo Controlados según las especificaciones del cliente por Actividad.

Indicador de Cumplimiento de Cronogramas por Producto de Trabajo

$$\text{IFE} = \text{TPT} - \text{TRPT}$$

Donde:

IFE: Exactitud de la entrega de producto final en términos de la fecha prevista.

TPT: Tiempo establecido para generar el Producto de Trabajo (Número de Días)

TRPT: Tiempo real de generación del Producto de Trabajo (Número de Días)

Si el indicador IFE es positivo, la duración de la generación del Producto de Trabajo es mas baja que la estimación inicial, esto es un buen resultado si el grado de satisfacción con respecto a las especificaciones del cliente es positivo. Si el IFE es negativo significa que el tiempo para generar el Producto de Trabajo es mayor que la estimación inicial.

Tabla 17. Medida asociada al Objetivo de Mejora 6

07 Proveer a la organización de los medios y mecanismos adecuados para el uso y resguardo de la información de los productos generados en sus procesos, de forma confiable, oportuna y segura mediante la base del conocimiento.

Interpretación:

Se refiere al grado en que la empresa hace uso de mecanismos de resguardo de la información de sus proyectos, procesos y productos mediante una base del conocimiento, logrando con esto aprovechar el conocimiento generado y las Lecciones Aprendidas de proyectos anteriores.

Se debe calcular el valor PROF de la siguiente manera:

PROF: Peso de los Resultados obtenidos del Formulario de Recolección de la Información. Este valor es necesario para calcular el indicador.

$$\text{PROF} = 1 / \text{Numero de Resultados utilizados para este Objetivo}$$

Forma de Obtener el Valor del Indicador:

Para obtener este valor se requieren de la información registrada en el Formulario de Recolección de la Información. El Número de Resultados para este Objetivo es 4. Los resultados que usted debe tener en cuenta para calcular este valor de indicador son los resultados de las preguntas 17, 18, 19 y 20 del Formulario de Recolección de Información.

$$\text{Valor del Indicador (I7)} = (\text{Resultado Pregunta17} + \text{Resultado Pregunta 18} + \text{Resultado Pregunta19} + \text{Resultado Pregunta20}) * \text{PROF}$$

Tenga en cuenta que si se esta aplicando este formulario a varias personas involucradas en el proceso, el valor del indicador debe ponderarse haciendo uso de la fórmula (1):

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Valor del Indicador}}{\text{Numero de personas a quienes se aplicó el Formulario}}$$

Fórmula (1): Valor del Indicador =

Donde:

Valor del indicador i: indica el valor obtenido anteriormente para cada formulario.

n: es el número de personas que respondieron el Formulario de Recolección de la Información.

Tabla 18. Medida asociada al Objetivo de Mejora 7

O8 Definir y planificar las actividades de definición, implantación y mejora de los procesos mediante el plan de mejora de procesos y llevarlas a cabo en función del mismo.
Interpretación: Se refiere al grado en que ciertos elementos importantes de la mejora de procesos son incorporados a la organización y se institucionalizan actividades como la gestión de Procesos es decir, se definen, planifican y establecen los procesos de la organización, en función de los procesos requeridos identificados y los involucrados en el proceso realizan sus actividades de acuerdo al proceso ajustado de acuerdo a las guías establecidas por la mejora de procesos SPI.
Se debe calcular el valor PROF de la siguiente manera: PROF: Peso de los Resultados obtenidos del Formulario de Recolección de la Información. Este valor es necesario para calcular el indicador. PROF = 1 / Numero de Resultados utilizados para este Objetivo

Forma de Obtener el Valor del Indicador:

Para obtener este valor se requieren de la información registrada en el Formulario de Recolección de la Información. El Número de Resultados para este Objetivo es 6. Los resultados que usted debe tener en cuenta para calcular este valor de indicador son los resultados de las preguntas 21, 22, 23, 24, 25 y 26 del Formulario de Recolección de Información.

$$\text{Valor del Indicador (I8)} = (\text{Resultado Pregunta21} + \text{Resultado Pregunta22} + \text{Resultado Pregunta23} + \text{Resultado Pregunta24} + \text{Resultado Pregunta25} + \text{Resultado Pregunta26}) * \text{PROF}$$

Tenga en cuenta que si se esta aplicando este formulario a varias personas involucradas en el proceso, el valor del indicador debe ponderarse haciendo uso de la fórmula (1):

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Valor del Indicador}}{\text{Numero de personas a quienes se aplicó el Formulario}}$$

Fórmula (1): Valor del Indicador =

Donde:

Valor del indicador i: indica el valor obtenido anteriormente para cada formulario.
n: es el número de personas que respondieron el Formulario de Recolección de la Información.

Tabla 19. Medida asociada al Objetivo de Mejora 8

La interpretación de los resultados de estas medidas tipo indicador está registrada en cada una de las tablas anteriores, donde se define y presenta el indicador; los valores obtenidos para cada uno de estos indicadores, reflejan el grado de realización ó logro del objetivo de mejora asociado. A continuación se presentan los valores que se pueden obtener y su característica asociada:

- Si Valor del Indicador (**I_n**) = 0
Este objetivo de mejora no es alcanzado en ningún grado de satisfacción
- Si $0 < \text{Valor del Indicador (I}_n) < 0.33$
El grado de satisfacción de este objetivo de mejora indica que el objetivo se logra en un valor inferior al 33%.
- Si $0.33 < \text{Valor del Indicador (I}_n) < 0.67$

El grado de satisfacción de este objetivo de mejora indica que el objetivo se logra en un valor entre 33% y 67%.

- Si $0.67 < \text{Valor del Indicador (In)} < 1$
El grado de satisfacción de este objetivo de mejora indica que el objetivo se logra en un valor entre 67% y 100%

Con estos porcentajes y la interpretación aconsejada anteriormente se puede analizar cada uno de los objetivos de mejora.

3.5.7 Proceso de Medición Sugerido por el MLM – PDS

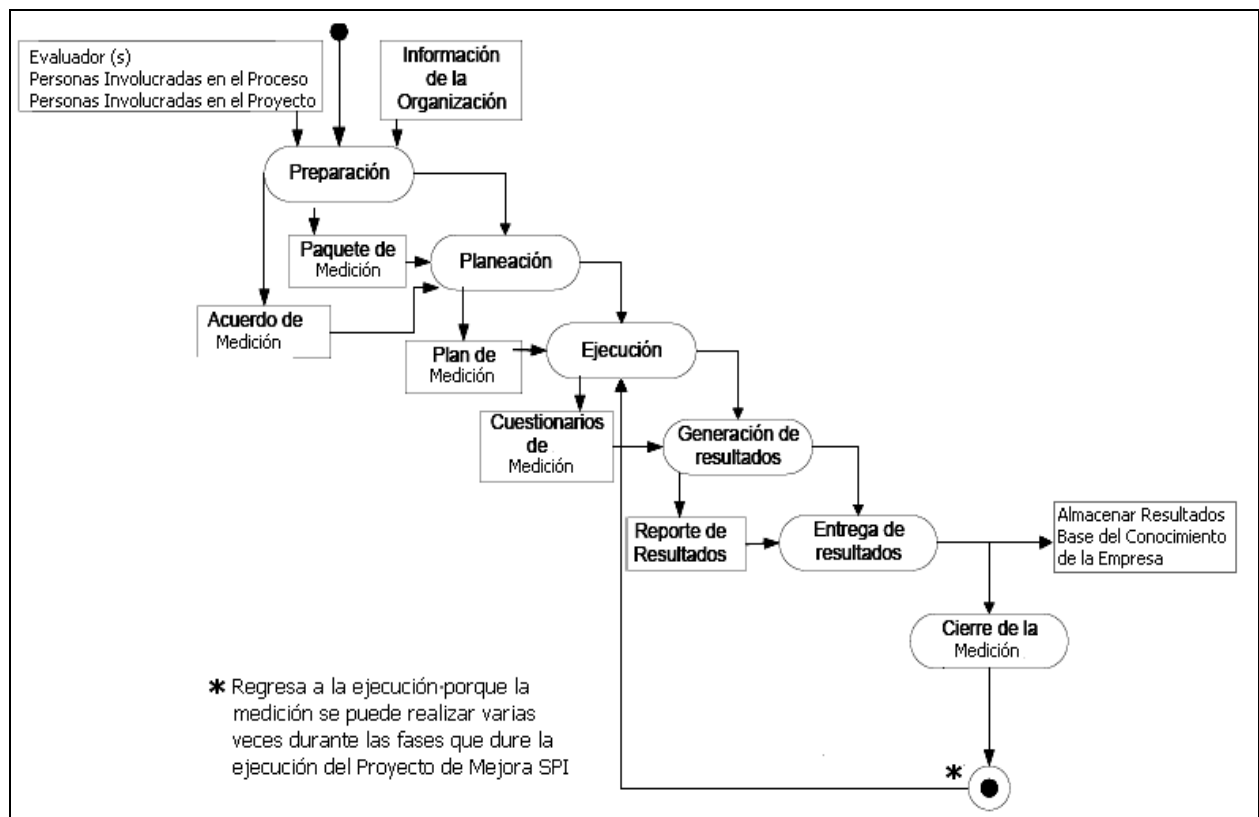


Figura 15. Proceso de Medición sugerido por el MLM - PDS

El proceso de Medición que recomienda aplicar el **MLM – PDS** contempla la preparación, actividad previa a la medición, y las actividades propias de la medición tales como la planeación, ejecución, generación y entrega de resultados y cierre.

- Preparación: El Evaluador ó Equipo de Evaluadores, solicita el Paquete de Medición (Anexo 7: Formulario de Recolección de Información y Anexo 8: Tabla de Medidas) a la empresa y lo conocen y se familiarizan con éste y con los términos empleados por el mismo.
- Planeación: El Evaluador ó Equipo de Evaluadores, confirma el compromiso con la empresa para realizar la medición, identifica los procesos que están involucrados en el proyecto de mejora que se va a medir y a los participantes en la medición, elabora el Plan de Medición, lo valida con la empresa y cada uno de los involucrados y prepara a los participantes capacitándolos en la terminología utilizada y familiarizándolos con los formatos.
- Ejecución: Por cada proceso a medir, el Evaluador ó Equipo de Evaluación realiza una revisión a la documentación solicitada, prepara y realiza la entrevista con el Responsable del Proyecto y del Proceso y con su equipo de trabajo.

Adicionalmente, por cada responsable de los procesos se debe realizar la revisión de su documentación, se prepara y realiza una entrevista con el responsable. La información recaudada se registra como evidencia documental y oral en el Formulario de Recolección de Información. Finalmente, se consolida y se corrobora la información y se obtiene también la Tabla de Medidas (Ver Anexo 8).

- Generación de resultados: El Evaluador ó Equipo de Evaluación genera el reporte de resultados, el **MLM – PDS** recomienda que el reporte de resultados refleje los resultados de los indicadores tanto de desempeño como de logro o satisfacción de los objetivos de mejora con base en los registros obtenidos en los formatos que contiene el Paquete de Medición Anexo 7: Formulario de Recolección de Información y Anexo 8: Tabla de Medidas).
- Entrega de resultados: El Evaluador o Equipo de Evaluación cierra el Proceso de Medición y presenta a la organización los resultados obtenidos y entrega el Reporte de Resultados al Responsable del proyecto de mejora SPI para que éste sea almacenado en la Base de Conocimiento de la empresa.

Como el Proceso de Medición se puede realizar varias veces, y en cualquier fase del Proyecto de Mejora, el Proceso de Medición se inicia nuevamente en la Ejecución ya que las otras fases se han realizado y ya no son requeridas en este momento del Proceso (Ver Figura 15).

Capítulo 4. Presentación de Resultados de la aplicación del Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software MLM – PDS

Una de las principales dificultades de cualquier programa ó proyecto de mejora consiste en la obtención del soporte y patrocinio necesario para la organización, así como el logro de la asignación de recursos y plazos disponibles para lograr los objetivos de mejora.

Cuando se habla de la conveniencia, necesidad y/o la oportunidad de emprender un programa de mejora, la gerencia de la empresa necesita conocer cuál será el costo estimado de los esfuerzos que realice y de las actividades y recursos que el programa de mejora requiera; el **MLM – PDS** ayuda a determinar la situación actual del proceso (s) de la organización ayudando a identificar aspectos que pueden ser mejorados, o redefinidos para mejorar el desempeño de la organización así mismo, brinda la posibilidad de estimar el esfuerzo, eficiencia, tiempo entre otros aspectos que involucra un programa de este tipo. Esto, además de brindar estimaciones antes de un programa de mejora y mediciones durante y después del mismo, conlleva a una reducción de trabajo en futuras actividades, supone un aumento en la motivación del personal de la organización aumentando su implicación en las actividades de mejora lo que conlleva a la consecución exitosa de los objetivos.

En el Capítulo 2 de este trabajo, cuando se menciona la conocida premisa:

“Cuando pueda medir lo que está diciendo y expresarlo con números, ya conoce algo sobre ello; cuando no pueda medir, cuando no pueda expresar lo que dice con números, su conocimiento es precario y deficiente”. (Lord Kelvin)

Se hace referencia a la importancia de la medición porque cuantificando las características representativas de una actividad, un producto o un proceso podemos desarrollar indicadores o combinar las medidas tomadas durante el proceso de medición para acercarnos al conocimiento de la entidad software que estamos midiendo.

En este Capítulo se presentan algunos resultados obtenidos de la aplicación **del MLM – PDS** en las empresas piloto donde se realizaron los casos de estudio descritos en el capítulo anterior; todos los resultados obtenidos de las mediciones fueron presentados a las empresas ofreciéndole a estas la posibilidad de tener conocimiento cuantitativo de sus procesos y de su proyecto de mejora.

Teniendo en cuenta la variación que presentan los resultados obtenidos de los datos de las diferentes medidas tomadas, se utiliza el método de control estadístico de procesos propuesto por Walter Shewhart³³ en 1920, para justificar que las medidas propuestas por el **MLM – PDS** miden realmente lo que se ha establecido, y permiten analizar la variación de las medidas del proceso (s) en cuestión, mediante estos valores obtenidos a lo largo del tiempo.

Esta técnica llamada gráfico de control estadístico, permite que las personas interesadas en la mejora de procesos de software determinen si la dispersión (variabilidad) y la medida del proceso (s) es estable, es decir, si el proceso presenta cambios controlados o simplemente naturales; o si la medida del proceso es inestable, es decir, si el proceso presenta cambios fuera de control y las medidas no pueden usarse para predecir el rendimiento del mismo. Dos tipos diferentes de gráficos de control se usan en la evaluación de los datos medidos: (1) el gráfico de control de rango móvil (Rm) y (2) el gráfico de control individual.

Para ilustrar el enfoque que significa un gráfico de control, se considera el ejemplo de uno de los casos de estudio descritos anteriormente, teniendo en cuenta los registros del indicador de uno de los objetivos de mejora (**I2**) que reúne sus datos a partir del Formulario de Recolección de Información.

Durante las diferentes mediciones antes y después del proyecto de mejora, la organización ha registrado valores de **I2** (Indicador de Objetivo de Mejora 2) para 14 observaciones en el mismo dominio del proyecto de mejora de procesos de desarrollo software. Los valores resultantes para **I2** (Indicador de Objetivo de Mejora 2), están registrados en la Tabla 20, columna 1. Si nos referimos a la figura 16, **I2** varía desde valores iguales a 0.1 para la medición 4 hasta valores iguales a 1 para las mediciones 7, 10 y 14.

Valores Medida I2	Rango Móvil	abs(Rango Móvil)
0,2	-0,1	0,1
0,1	0,4	0,4
0,5	0	0
0,5	0,5	0,5
1	-0,4	0,4
0,6	-0,1	0,1
0,5	0,5	0,5
1	-0,6	0,6
0,4	-0,2	0,2
0,2	0,6	0,6
0,8	0,2	0,2

³³ **Walter A. Shewhart**: Considerado como el padre del Control Estadístico de Procesos (SPC). Fue el primero en realizar estudios sistemáticos sobre la calidad, desarrollando métodos estadísticos. Describe su teoría en el libro Economic Control of Quality of Manufactured Products.

1	-0,3	0,3
0,7	-0,4	0,4
0,3	0	0

Tabla 20. Medidas y Rangos Móviles para I2 Inicial

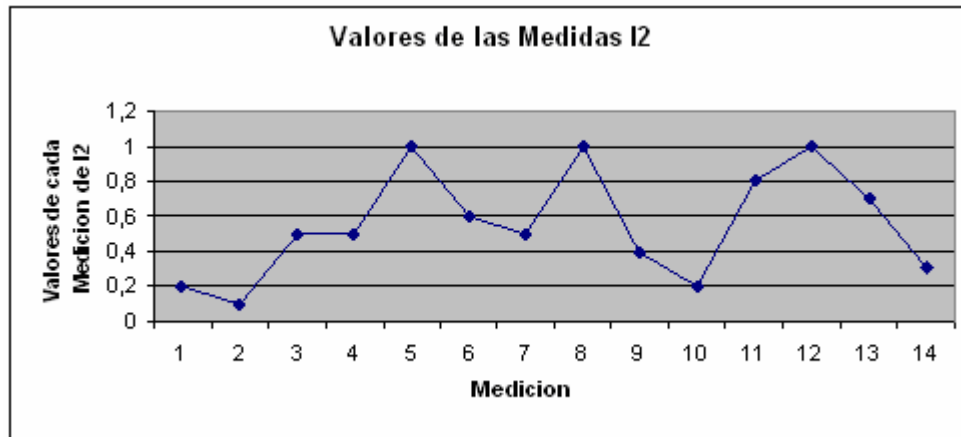


Figura 16. Grafica de Medidas Individuales de I2

Según el método propuesto por Richard Zultner, para proporcionar una vista general del comportamiento de la medida del proceso, el procedimiento que se requiere para desarrollar un gráfico de control estadístico de rango móvil (Rm) para determinar la estabilidad del proceso es el siguiente:

1. Calcular los rangos móviles: el valor absoluto de las diferencias sucesivas entre cada pareja de puntos de datos. Dibujar estos rangos móviles sobre el gráfico.
2. Calcular la media de los rangos móviles. Dibujar ésta («barra Rm») como la línea central del gráfico (Ver Figura 17).
3. Usando los datos representados en la Figura 17 y los distintos pasos sugeridos por Zultner como anteriormente se ha descrito, se desarrolla un gráfico de control estadístico Rm que se muestra en la Figura 16. El límite de control superior (LCS) es 1.820742857.

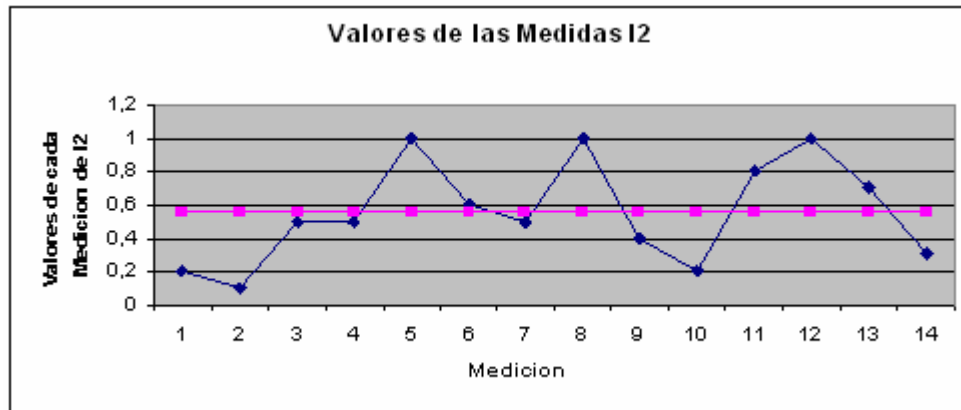


Figura 17. Grafica de Medidas Individuales de I2 con el Valor Medio de I2

- Multiplicar la media por 3.268. Dibujar esta línea como el límite de control superior [LCS]. Esta línea supone tres veces el valor de la desviación estándar por encima de la media. El límite de control superior (LCS) es 1.820742857.

Para determinar si la dispersión de las medidas del proceso es estable debemos fijarnos si los valores del rango móvil dentro del LCS. Para el ejemplo descrito anteriormente, la respuesta es «sí». Por consiguiente, la dispersión de la medida es estable. Ahora se procede a desarrollar el gráfico de control individual de la manera siguiente:

- Se debe calcular el valor de LNPS (límite de proceso natural superior) y el valor LNPI (límite de proceso natural inferior). Luego de calculado este valor, siguiendo el proceso descrito en [116] se procede a dibujar el LPNS y el LPNI. Aplicando estos pasos a los datos representados en la Figura 17, se llega a un gráfico de control individual según se ve en la Figura 18.

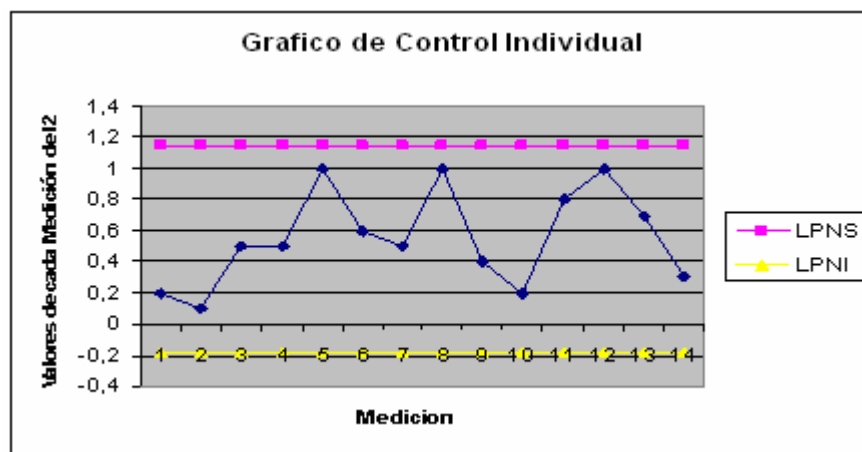


Figura 18. Grafica de Medidas Individuales de I2, Límites Superior e Inferior

Zultner revisa cuatro criterios, denominados reglas de zona, que pueden usarse para evaluar si los cambios representados por la medida indican que un proceso está bajo control o fuera de control. Si cualquiera de las condiciones establecidas es verdadera, los datos de la medida indican un proceso que está fuera de control; los criterios son:

1. Un valor de la medida a nivel individual aparece fuera del LPNS
2. Dos de cada tres valores de las medidas sucesivas aparecen más de dos desviaciones estándar fuera del valor Promedio de las Medidas.
3. Cuatro de cada cinco valores de métricas sucesivas aparecen alejados más de una desviación estándar del valor Promedio de las Medidas.
4. Ocho valores consecutivos de métrica aparecen todos situados a un lado del valor A.

A continuación se presenta la gráfica con los valores respectivos de la desviación estándar (SD) y los valores descriptos por Zultner.

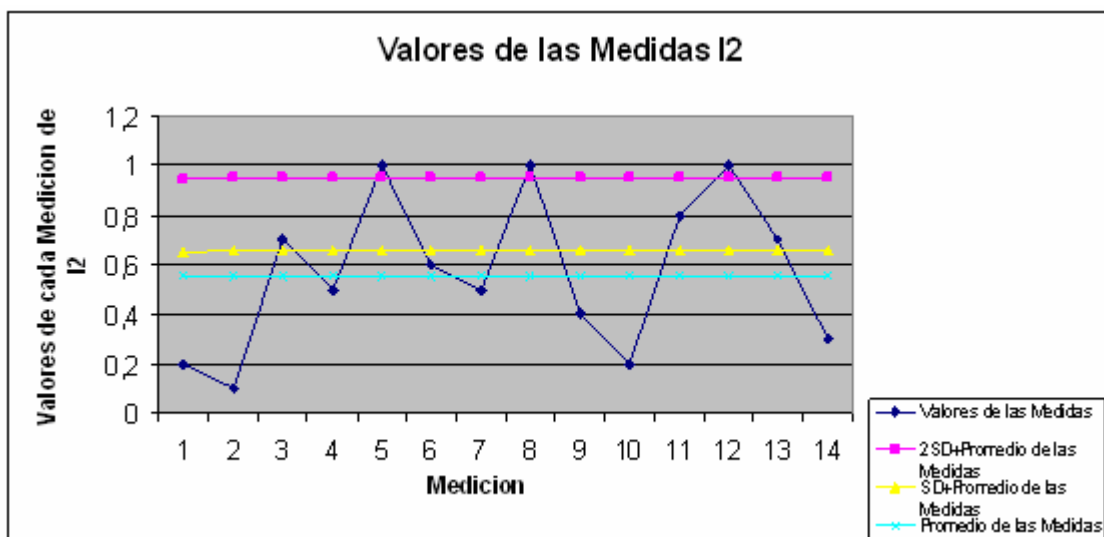


Figura 19. Gráfico de Control Individual con Desviación Estándar

Puesto que todas estas cuatro condiciones fallan para los valores mostrados para la figura 19, se concluye que los datos de las medidas se derivan de un proceso estable y que se pueden deducir legítimamente a partir de los datos recogidos en la medida planteada por el **MLM - PDS** una información que constituye una verdadera tendencia.

Si nos referimos a la figura 18, puede verse que la variabilidad de la medida de I2, crece y decrece constantemente, esto, teniendo en cuenta que no se ha aplicado el proyecto de mejora de procesos SPI.

Ahora, presento los resultados del procedimiento anterior, para valores de mediciones realizadas al mismo indicador de Objetivo de Mejora **I2** pero cuando ya se ha implementado el proyecto de mejora. La tendencia de las medidas cambia, esto porque el proceso comienza a comportarse de una manera más estable al implementarse el

programa de mejora y porque la medida realmente es adecuada para medir este Objetivo.

Valores Medida I2	Rango Movil	abs(Rango Movil)
0,7	0,1	0,1
0,8	-0,15	0,15
0,65	0,15	0,15
0,8	-0,1	0,1
0,7	0,05	0,05
0,75	-0,15	0,15
0,6	0,1	0,1
0,7	0,1	0,1
0,8	-0,1	0,1
0,7	-0,1	0,1
0,6	0,1	0,1
0,7	-0,1	0,1
0,6	0,1	0,1
0,7	-0,1	0,1
0,6	0,1	0,1
0,7	0	0

Tabla 21. Medidas y Rangos Móviles para I2 Después de la Mejora

A continuación se presenta el gráfico propuesto por Richard Zultner (Ver Figura 20) para proporcionar una vista general del comportamiento de las mediciones asociadas al indicador del Objetivo de Mejora **I2** tomadas después de implementar el proyecto de mejora.

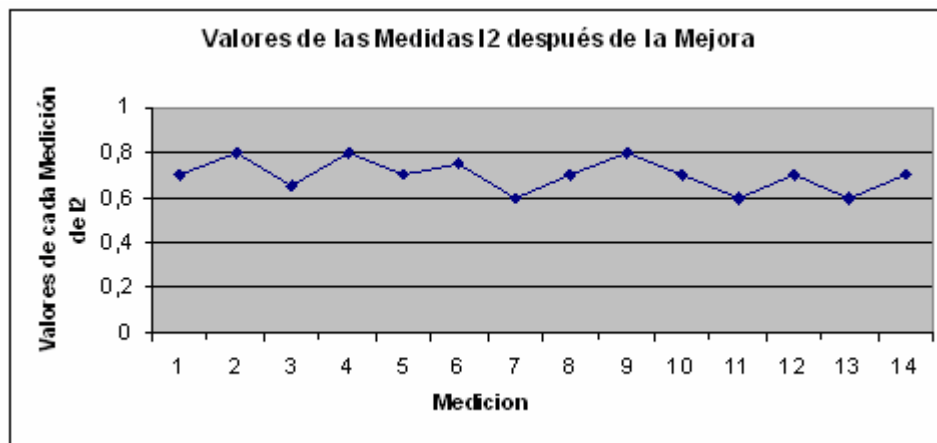


Figura 20. Grafica de Medidas Individuales de I2

Ahora presento el gráfico de control estadístico de rango móvil R_m para determinar la estabilidad del proceso (Ver Figura 21). El límite de control superior (LCS) es 0,09285714.

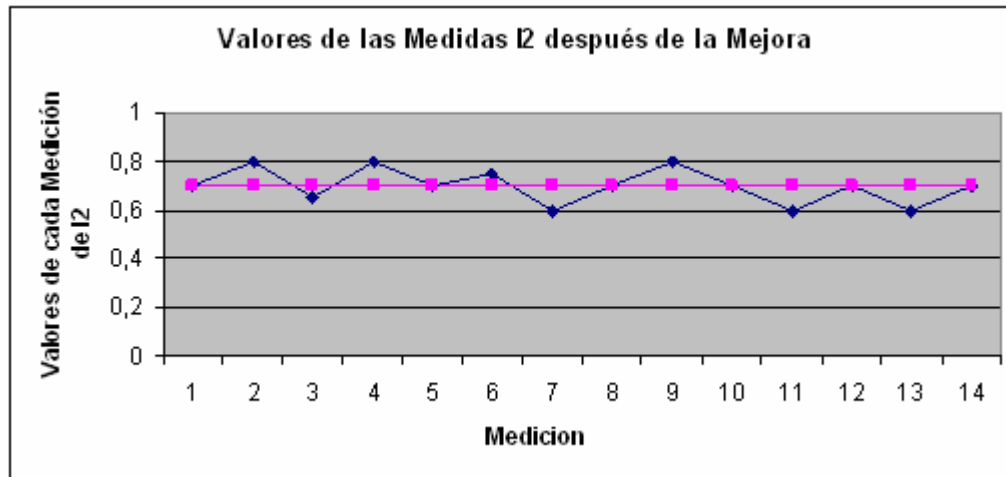


Figura 21. Grafica de Medidas Individuales de I2 con el Valor Medio de I2 después de la Mejora

Para determinar si la dispersión de las medidas del proceso es estable debemos fijarnos si los valores del rango móvil dentro del LCS. Para el ejemplo descrito anteriormente, la respuesta también es sí. Por consiguiente, la dispersión de la medida es estable. Ahora se procede a desarrollar el gráfico de control individual de la manera siguiente:

1. Se debe calcular el valor de LNPS (límite de proceso natural superior).
2. Se debe calcular el valor de LNPI (límite de proceso natural inferior).
3. Luego de calculado este valor, siguiendo el proceso descrito en [116] se procede a dibujar el LPNS y el LPNI.
4. Aplicando estos pasos a los datos representados en la Figura 21, se llega a un gráfico de control individual según se ve en la Figura 22.

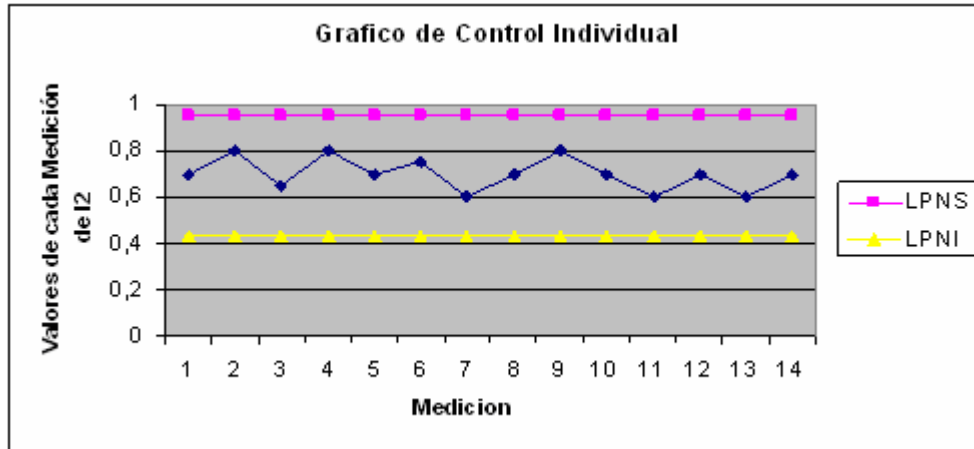


Figura 22. Grafica de Medidas Individuales de I2, Límites Superior e Inferior

Para revisar los cuatro criterios, denominados reglas de zona, se presenta la siguiente figura (Ver Figura 23) con los valores respectivos de la desviación estándar (SD) y los valores descritos por Zultner[117].

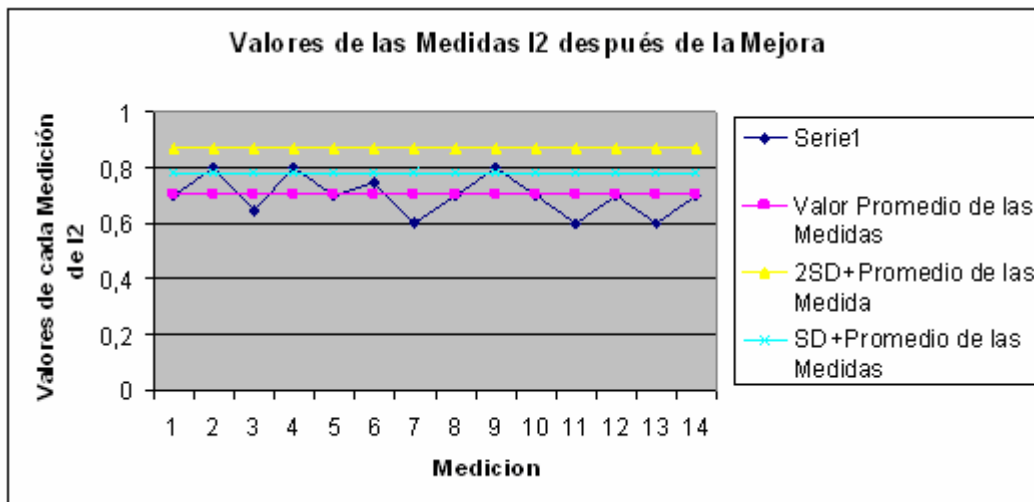


Figura 23. Gráfico de Control Individual con Desviación Estándar

Como se puede observar, después de implementar el programa de mejora en las organizaciones los resultados de las medidas obtenidas evidencian que el proceso tiende a estabilizarse, lo que resulta beneficioso para la empresa.

El gráfico de control Individual indica que el proceso es estable, parece que los esfuerzos para mejorar la efectividad de los procesos de la organización dan buenos resultados. Además haciendo uso de éste método de Control Estadístico de Procesos se pudo determinar el comportamiento que presentan las medidas del **MLM – PDS** y su variabilidad para establecer si estas eran adecuadas a la característica u objetivo que

se pretendía medir, contribuyendo así a la realización de los ajustes que se hicieron a las medidas del **MLM –PDS** y al refinamiento del modelo. Este mismo proceso se siguió para evaluar todos los indicadores establecidos por el **MLM – PDS** y realizar los ajustes necesarios a las medidas del modelo y a los procesos de la organización.

A continuación, se presentan otro tipo de resultados estadísticos mediante la utilización de gráficos que permiten evidenciar distintos aspectos asociados a la mejora de procesos y las medidas planteadas por el **MLM – PDS**. Se presentan algunos resultados, estos se seleccionaron debido a las necesidades de información expresadas en su momento por la gerencia de las empresas donde fue aplicado el modelo.

En los resultados anteriores mostrados en este capítulo, se utilizó el Método Grafico de Control Estadístico para los Indicadores ó Medidas de Satisfacción de los Objetivos de Mejora. Los resultados que se presentan ahora son para las medidas tipo indicador Genérico definidas por el modelo **MLM – PDS** que son básicamente de tipo desempeño.

Considerando las necesidades de información expuestas por las empresas en donde se realizaron los casos de estudio, se utilizaron algunas de las medidas del **MLM – PDS**.

Para las empresas es muy importante además de poder estimar los esfuerzos que se realizan durante este tipo de proyectos, conocer también los beneficios que este trae para su organización; los resultados presentados a continuación resumen los resultados de la aplicación de las medidas que a consideración de las empresas son las mas importantes para determinar los beneficios y el impacto que trae al interior de la organización un proyecto SPI. Estas medidas y/o indicadores fueron tomados en diferentes tiempos o fases de la ejecución del proyecto.

Un primer resultado que las empresas solicitaron fue la estimación del esfuerzo que realizaban para realizar ciertos productos de trabajo antes de implementar un proyecto de mejora de procesos SPI, y el esfuerzo realizado para generar estos mismos productos después de la mejora, estas medidas se pueden obtener, gracias a la tabla de estimación del esfuerzo del **MLM – PDS**, la cuál permite estimar este valor antes, durante y después de realizar el esfuerzo.

Según los resultados obtenidos, se estaban generando 5 productos de trabajo, los cuales tenían como responsables de su realización 3 personas, y dedicaban a estas actividades 30 horas semanales, después de la mejora; se empezaron a generar los mismos 5 productos de trabajo, los cuales tenían como responsables de su realización al mismo numero de personas (3 personas) pero la dedicación en tiempo era ya de 22 horas semanales, quedándoles así tiempo para dedicarse a otras labores. El esfuerzo antes de la mejora y después de la mejora varió considerablemente (Ver Figura 23) y esto es algo que la organización valora mucho, ya que se traduce en beneficios como ahorro de tiempo y disminución de esfuerzo.

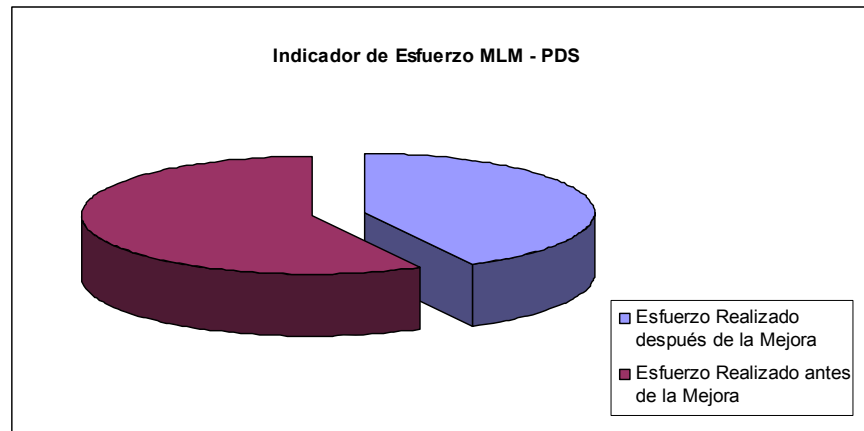


Figura 24. Gráfico del Indicador de Esfuerzo de MLM – PDS

Las empresas también manifestaron su necesidad por conocer variación de la eficiencia a lo largo del programa de mejora para lo cuál se utilizó el indicador definido por el **MLM – PDS** que relaciona los objetivos de mejora alcanzados (en qué grado van siendo alcanzados a lo largo del proyecto SPI) y la cantidad de recurso consumido medido en horas (tiempo en horas). Para esta necesidad, se realizaron diversas mediciones y se muestran resumidas en tres graficas (Ver Figuras 25, 26, 27).

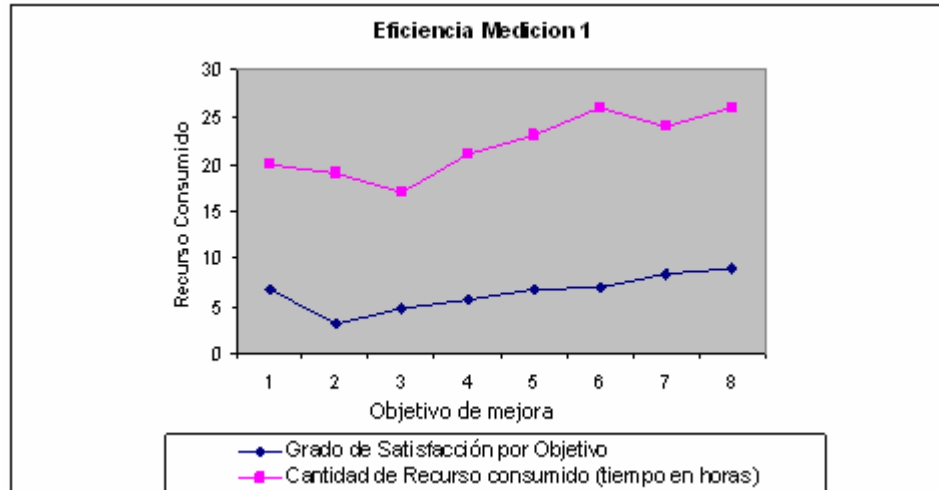


Figura 25. Gráfico de la Relación entre la realización de cada Objetivo de Mejora y La cantidad de Recurso Consumido MLM – PDS [Medición 1]

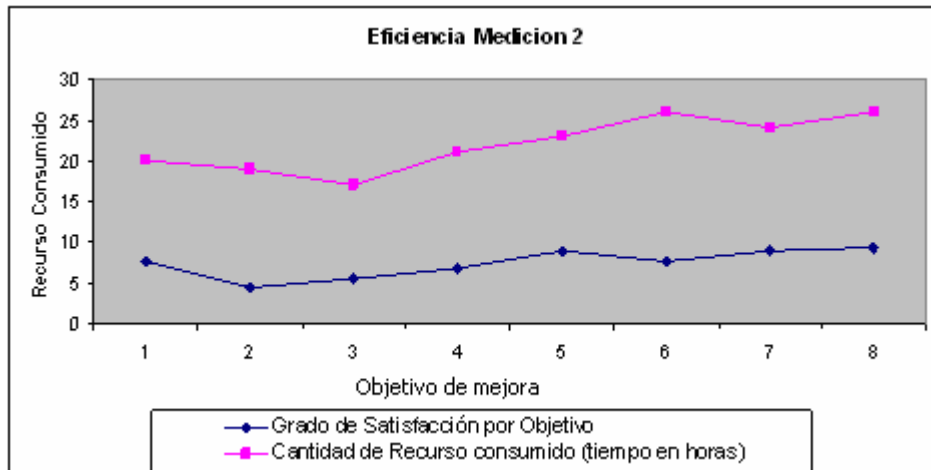


Figura 26. Gráfico de la Relación entre la realización de cada Objetivo de Mejora y La cantidad de Recurso Consumido MLM – PDS [Medición 2]

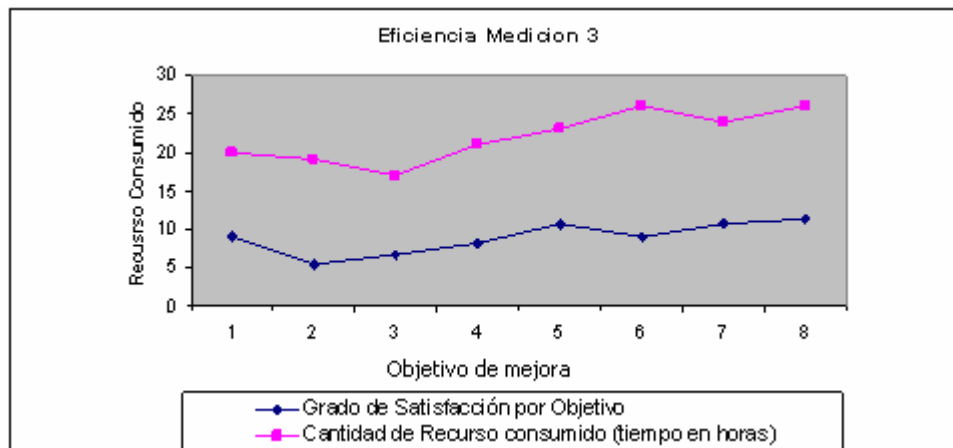


Figura 27. Gráfico de la Relación entre la realización de cada Objetivo de Mejora y La cantidad de Recurso Consumido MLM – PDS [Medición 3]

Como se puede apreciar con los resultados de estas gráficas, la eficiencia a lo largo de la ejecución del proyecto en relación a los objetivos de mejora, va incrementando por cada uno de los objetivos; ahora vemos esto en términos del aumento de la eficiencia en general (Ver Figura 28).

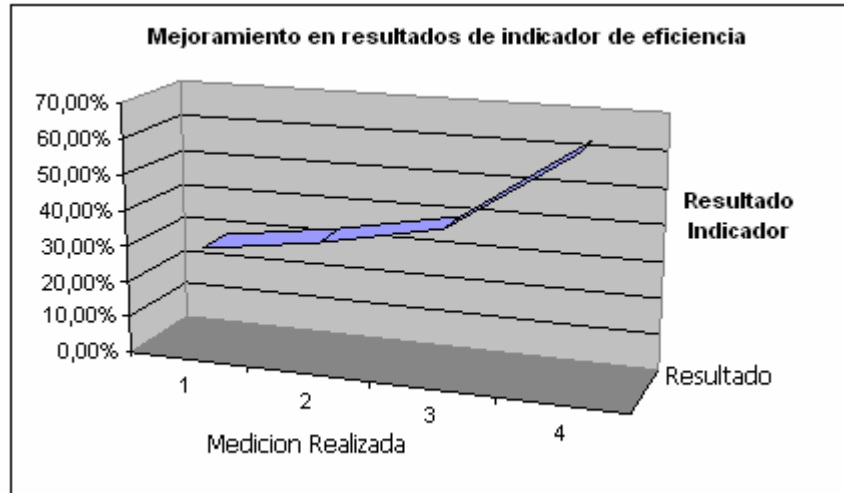


Figura 28. Gráfico del Indicador de Eficiencia de MLM – PDS

Por último, se presentan los resultados para el indicador de productividad del MLM-PDS, calculado en términos del número de Productos de Trabajo que cumplen las especificaciones en relación con el Número de Productos de Trabajo totales. Este resultado surge de la toma de diversas mediciones a lo largo del proyecto de mejora (Ver Figura 29) y en relación con el número de Productos de Trabajo que se debían generar en total.

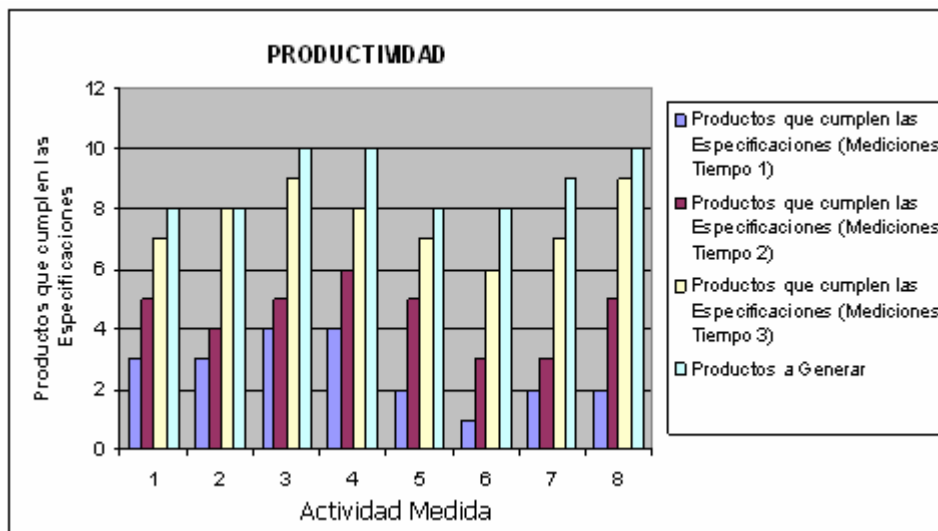


Figura 29. Gráfico de las Mediciones de Productividad de MLM – PDS

Veamos ahora el gráfico donde se muestra la evolución de la Productividad a lo largo del programa de mejora (Ver Figura 30).

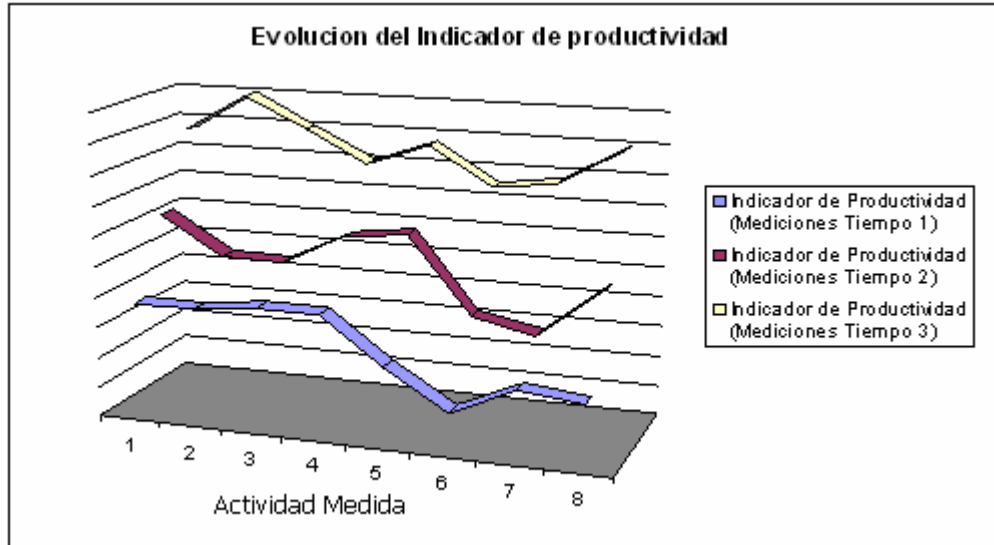


Figura 30. Gráfico de Productividad de MLM – PDS

Como se puede apreciar, la productividad de la empresa incrementa notablemente a lo largo de la ejecución del programa de mejora; lo que resulta bastante importante para motivación de la empresa y para que éstas vean los beneficios de la mejora y la continua medición de los resultados que se obtienen con el tiempo.

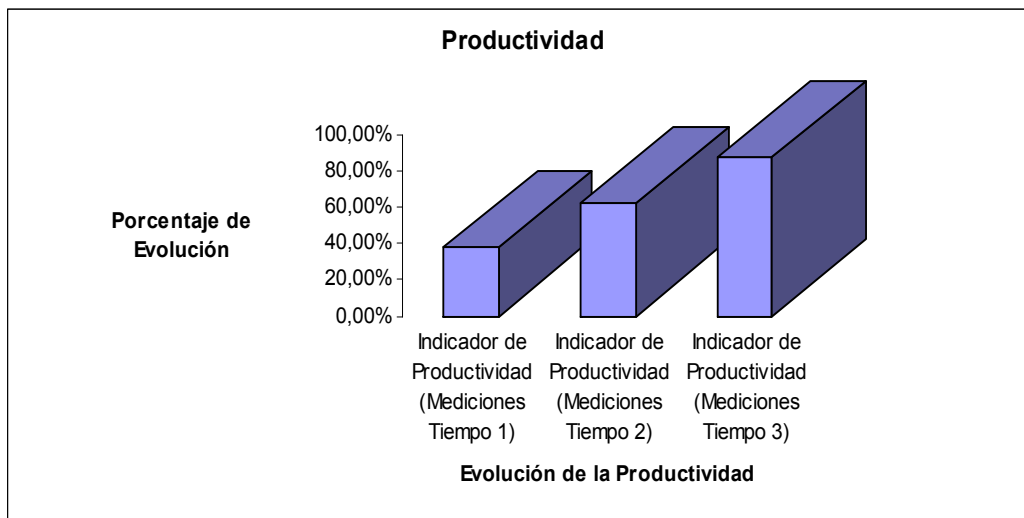


Figura 31. Gráfico de Productividad de MLM – PDS

Capítulo 5. Validación empírica del Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software MLM – PDS Mediante Casos de Estudio

El **MLM – PDS** es un modelo de medidas que pretende contribuir a que las organizaciones del país, que implementen un modelo de mejora de procesos de software, midan el grado de eficacia que éste trae a la organización y si está aportando al logro de las metas y objetivos de la misma; lo cual podrá verse reflejado en la realización de software confiable, con tiempo y precios moderados, permitiendo mejorar de una u otra manera la economía del país ya que los productos podrán ser competitivos.

Apoyándose en este modelo, las empresas podrán medir el proceso SPI³⁴ que implementan y determinar si éste, está siendo eficaz en relación con los objetivos y metas establecidas al implantarlo (La eficacia se refiere al logro de los resultados en relación con los objetivos), permitiéndole a dichas organizaciones obtener como resultado valores que se puedan analizar para identificar las fortalezas, debilidades y riesgos inherentes al SPI implementado.

En la actualidad, las organizaciones como las MiPyMES, progresan hacia sus metas, objetivos y necesidades buscando la mejora continua. La mejora de sus procesos y el cambio de la organización es una necesidad que implica la evolución de sus procesos, de la gente y de la infraestructura con la que cuentan [85].

En este capítulo se recogen todas las experiencias en la aplicación de las actividades relacionadas con la medición de un proyecto SPI en una MiPyME de desarrollo de software, para que pueda utilizarse como marco de referencia en cualquier empresa interesada en la mejora de procesos software. El proceso de mejora ha sido aplicado a dos empresas desarrolladoras de software, SIDEM Ltda. Y UNISOFT Colombia Ltda.³⁵, este capítulo presenta información relacionada con el proyecto de mejora implementado, la medición y los resultados obtenidos.

5.1 Participantes del Proyecto

En el proyecto, los participantes identificados el proyecto de mejora y medición de la mejora de procesos de desarrollo de software son dos: universidad y empresa, universidad en la aplicación, capacitación, mejora de los procesos de software y

³⁴ **SPI**: Software Process Improvement (Mejoramiento de Procesos de Software).

³⁵ Ver en el capítulo 5 la descripción de estas empresas.

medición de dicha mejora, y empresa en los deseos de mejorar y emprender un programa de mejora.

El proyecto tuvo éxito gracias a sus participantes, los cuales promovieron y motivaron completamente el trabajo realizado. Además existieron organizaciones y estamentos que también ayudaron a la realización de este proyecto, los participantes fueron:

- **Universidad**, se contó con la Universidad del Cauca como apoyo en el proceso investigativo, aportando el talento humano en la definición de los modelos utilizados en este proyecto.
- **Investigadores y empresas del sector del sur occidente Colombiano**, en la realización de las entrevistas, para la valoración y diagnóstico del estado en los procesos de software y en los proyectos de mejora de las PyMES del sur occidente colombiano.
- **PyMES de desarrollo de software**, que manifestaron su interés en participar en proyectos de mejora de procesos de software que les permitiera ser más competitivas. Las 2 empresas privadas participantes del proyecto son compañías pequeñas que poseen entre 5 y 20 empleados, en su mayoría dedicados al desarrollo de software. Estas empresas están orientadas como la mayoría de empresas privadas desarrolladoras de software, al desarrollo de aplicaciones a medida para el sector de los servicios, la educación y las telecomunicaciones.
- **Estudiantes**, los estudiantes de último año en Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Cauca, apoyando en actividades de gestión, administración, y mejora de los procesos. Así mismo desarrollaron actividades de consultoría, capacitación, apoyo y definición de los modelos y guías planteados.
- **COMPETISOFT**, se contó con el proyecto COMPETISOFT como ente financiador y de apoyo en el proceso investigativo, aportando información importante utilizada en este proyecto.

5.2 Descripción de la empresa SIDEM Ltda.

Sidem Ltda. es un grupo empresarial perteneciente a la región del Valle del Cauca, el cual reside en la Ciudad de Santiago de Cali – Colombia. Esta empresa Vallecaucana se encuentra dedicada a la producción, integración, mantenimiento, respaldo y asesoría de sistemas de información multisectorial de tecnología avanzada, con diseños multiplataforma, estructurados para soportar los constantes retos de renovación de los procesos productivos de las organizaciones modernas.

En la actualidad Sidem Ltda. cuenta con más de 300 clientes en el territorio nacional, los cuales están utilizando su solución administrativa y financiera, estas soluciones

permitieron a esta empresa estar catalogados por la Cámara de Comercio de Occidente como empresarios emprendedores del Valle del Cauca y posicionarse como una de las más sólidas en el sur occidente colombiano. Actualmente Sidem Ltda. se encuentra exportando su producto software a un país vecino, Ecuador, donde ya se está perfilando a ser una solución necesaria en gran parte del territorio hermano.

5.3 Panorama previo a la mejora en la empresa SIDEM Ltda.

Para el año 1.999, SIDEM Ltda.³⁶ era una empresa que contaba con un recurso humano pequeño aproximadamente 5 personas, las cuales dentro de sus obligaciones realizaban actividades tanto de desarrollo, como de gestión y soporte, dentro de un proceso de desarrollo de software no definido. Actualmente con el crecimiento de la empresa, SIDEM Ltda. cuenta con 9 personas a su disposición, de las cuales 1 persona está a cargo de la gerencia general de la empresa, 2 personas están encargadas del área de atención al cliente, 2 personas al área de desarrollo, 2 personas en el área comercial y administrativa y por ultimo 2 personas que desarrollan actividades administrativas complementarias.

Gracias a la información obtenida mediante entrevistas, se encontró que las áreas de proceso de desarrollo de la empresa se encontraban definidas implícitamente, pero estas no reflejaban un proceso completo, ordenado y documentado. Durante las entrevistas, se pudo notar que la empresa contaba con una jerarquía o estructura organizacional, con algunos de sus roles y actividades sin documentar y que en últimas muchos de ellos no se realizaban y las pocas y más importantes se solapaban junto con los roles de otras áreas, generando caos y estrés en la disposición del personal por el sobre esfuerzo al realizar actividades sin relación y en muchas ocasiones dejadas a medias o sin terminar por atender múltiples actividades consideradas de mayor prioridad o por solucionar problemas a medida en que estos aparecían.

Dentro de la empresa se encontraron dos iniciativa por mejorar sus procesos: la primera trató de guiar un esfuerzo de mejora creando un grupo de calidad, con el objetivo de definir y adoptar una metodología de desarrollo que fuera más controlable, clara y homogénea para todos los proyectos de la organización, además de solucionar muchos de los problemas que estaban afrontando por la demanda en el desarrollo de diferentes proyectos, así mismo documentar todo lo referente al proceso y realizar actividades de seguimiento y control de éste.

En la segunda iniciativa, algunos de los ingenieros de SIDEM Ltda. ya habían adoptado e implementado en dos de sus proyectos una metodología de desarrollo e implementación de servicios de software en Espiral (UP – UML), metodología que luego de implementada arrojó buenos resultados para los equipos de trabajo que las utilizaron, las consecuencias positivas se enfocaron en una mejor gestión y planeación del tiempo y de las actividades asociadas a estos, generando por primera vez en la historia de desarrollo de sus proyectos desfases muy pequeños (solo unos cuantos

³⁶ SIDEM: Sistemas de Integración y Desarrollo Empresarial. <http://www.sidemltda.com/>

días) en la terminación de la fecha final del proyecto a diferencia de otros proyectos desarrollados o que se encontraban siendo desarrollos en ese momento.

5.4 Aplicación del Programa de Mejora en la empresa SIDEM Ltda.

Para este programa de mejora se utilizó el proceso de mejora Agile SPI – Process el cual se compone de fases y estas a su vez de actividades; la primera fase, está comprendida por actividades encaminadas a iniciar, motivar e implicar a toda la empresa hacia la mejora, identificando sus necesidades y generando los productos de trabajo necesarios para el mantenimiento del compromiso y objetivos de mejora para mas información de las actividades que comprende esta fase Ver Marco Teórico: Modelos de Evaluación y Mejora.

Como resultado de esta fase, se crearon y establecieron estándares de trabajo homogéneo a todo el proyecto, basados en los manuales de técnicas y prácticas adoptadas para la mejora, tanto en la conformación de grupos efectivos e identificación de los escenarios de mejora como la gestión y administración de los grupos y proyecto de mejora; también se constituyeron los equipos de trabajo: un equipo de gestión, un equipo de tecnología de procesos y un equipo de mejora. El equipo de gestión o EG, conformado por los altos ejecutivos (gerente y subgerente) y 3 representantes del proyecto SIMEP-SW. Luego, se determinó el plan de mejora específico para la organización. El equipo de tecnología de procesos determinó los sistemas de información a utilizar en la gestión de la calidad.

En la segunda fase del programa de mejora, se realizaron actividades enfocadas hacia la valoración y priorización de los procesos de la empresa según el referente de calidad CMMI Nivel 2.

Como resultado de la valoración, se emitió un informe general sobre la situación de todos los procesos contemplados en el modelo de calidad CMMI Nivel 2; en el informe se sugirieron propuestas de mejora en: la administración y desarrollo de requerimientos con grado aceptable de implementación; planeación y seguimiento de proyectos de software con un bajo grado de implementación; al igual que la administración de subcontratos y las áreas de aseguramiento de calidad, administración de la configuración, medición y análisis, las cuales no se encontraron implementadas.

Como consecuencia del informe de valoración emitido donde se informó, acerca de la situación de los procesos contemplados de mayor prioridad por la organización y debido a que la empresa había manifestado su interés por mejorar su proceso de software y al escaso personal disponible para este proyecto, en la priorización se sugirió que se realizaran mejoras al área de procesos de administración y desarrollo de requerimientos, a partir de lo anterior, la empresa seleccionó los siguientes procesos:

- Administración de Requerimientos. Proceso comprendido dentro del proceso de Producción según su proceso de software y llamado por ellos de manera genérica como “captura de requisitos”.

- Desarrollo de Requerimientos.

Luego de conocer el estado actual de los procesos, en la tercera fase ó fase de formulación, se desarrollaron las siguientes actividades:

Se creó el *Plan de Ejecución de la Mejora*, pero esta vez se priorizaron y ordenaron las prácticas o subprácticas que componen dichas áreas a mejorar, se definieron objetivos de mejora concretos y medibles, se indicaron las actividades y prácticas a realizar para alcanzar dichos, se planificaron los hitos de verificación, se priorizaron y ordenaron las prácticas o subprocesos que componen cada área de proceso evaluada, se realizó un calendario estimativo del tiempo de ejecución de los casos de mejora (áreas de proceso a mejorar) y se identificaron recursos.

Luego de crear el plan de ejecución de la mejora, producto de trabajo que ayudaría a los equipos de mejora en la gestión de las áreas de proceso a mejorar, los estudiantes se encargaron de capacitar al personal de la empresa y luego se inició la actividad orientada a la ejecución de las pruebas piloto, en la cual se desarrollaron las siguientes tareas: Ejecución de las soluciones o mejoras de las áreas de proceso, diseño de las evaluaciones de los procesos con y sin mejora. Evaluación de la correspondencia positiva o negativa de las mejoras en el ciclo de vida del proceso de software de la empresa. Esta evaluación determinó el comportamiento de los procesos mejorados antes de ser institucionalizados o adoptados formalmente dentro de la empresa.

Finalmente se enfocaron esfuerzos en documentar las lecciones aprendidas en el piloto de mejora [p.ej., el consumo de recursos, tiempo, calendarios, riesgos, recursos, y demás información relevante para tomar decisiones en los siguientes ciclos de mejora].

A través de todo el proyecto de mejora se hicieron revisiones en lo que se refiere a recoger todas las experiencias tanto positivas como negativas, aprendidas y de gran valor en la toma de decisiones para los ciclos de mejora siguientes. Estas experiencias o lecciones aprendidas fueron recolectadas en la empresa en una base de conocimiento, la cual se creó por ser un primer ciclo de mejora.

5.5 Descripción de la empresa UNISOFT Colombia Ltda.

UNISOFT COLOMBIA es una empresa colombiana, joven e innovadora, dedicada al desarrollo de productos software y a la prestación de servicios de asesoría, capacitación, y procesamiento de datos especializados en el sector educativo³⁷.

La empresa cuenta con talento humano altamente calificado, multidisciplinario, dispuesto a ofrecer sus capacidades y conocimientos en pro del bienestar de la empresa y del cliente; actualmente tiene una estructura organizacional compuesta por 3 departamentos, comercial administrativo y de desarrollo en los cuales se

³⁷ UNISOFT Colombia Ltda. <http://www.unisoftcolombia.com/>

desempeñan 5 personas vinculadas de planta y 3 personas que trabajan externamente.

La misión de UNISOFT COLOMBIA, es ser una empresa colombiana dedicada a la creación de soluciones en sistemas para dar soporte a los diferentes procesos desarrollados por las organizaciones que requieren de la sistematización para la optimización en el uso de los recursos empleados. Se tiene como misión satisfacer plenamente las necesidades de los clientes prestando servicios relacionados con el desarrollo de software, consultorías, asesorías y asistencia técnica en sistemas software, redes de datos, y procesos especializados bajo el esquema del outsourcing; se comercializan los productos desarrollados enteramente al interior de la empresa y se cuenta con la posibilidad de distribuir productos software de terceros, siendo una empresa competitiva y líder en el país.

La empresa se ha fijado como meta entregar las mejores soluciones a las necesidades de los clientes, ofreciendo una garantía real y un soporte técnico que resuelva dudas y problemas relacionados con los productos ofrecidos.

Los productos que ofrece la empresa UNISOFT COLOMBIA, abarcan diferentes mercados. El del sector educativo con el software para gestión académica "ACADEMICO", que es una herramienta realmente útil, que permite gestionar la información académica a un nivel superior, obteniendo excelentes resultados durante los procesos realizados, y al final de los mismos.

En el sector empresarial se ubica el software "NOMINA", herramienta diseñada para liquidar nóminas complejas, adaptable a cualquier empresa u organización, que permiten ahorrar tiempo y dinero en la toma de decisiones con base en información real.

La empresa también ofrece otros productos como Bingo, Facturación de servicios públicos, y un sistema de gestión de registros y certificados para iglesias o parroquias, además del desarrollo de soluciones a la medida.

Otro campo en el que incursiona la empresa es en el de la prestación de servicios tales como:

- Procesamiento de datos.
- Capacitación de cada uno de los productos ofrecidos.
- Análisis, diseño y desarrollo de software.
- Desarrollo de aplicaciones web.
- Asesoría en instalación y manejo de redes de comunicaciones y de sistemas operativos.

5.6 Panorama previo a la mejora en la empresa UNISOFT Colombia Ltda.

Para inicios del año 2.007, UNISOFT COLOMBIA Ltda. era una empresa que contaba con un recurso humano pequeño aproximadamente 3 personas, las cuales dentro de

sus obligaciones realizaban actividades tanto de desarrollo, como de gestión y soporte, dentro de un proceso de desarrollo de software no definido. Actualmente con el crecimiento de la empresa, UNISOFT COLOMBIA Ltda. cuenta con 8 personas a su disposición, de las cuales hay 2 personas encargadas del área administrativa, 2 personas están encargadas del área comercial, 2 personas trabajan en el área de desarrollo y por ultimo 2 personas que desarrollan actividades complementarias.

Gracias a la información obtenida mediante entrevistas, se encontró que las áreas de proceso de desarrollo de la empresa no estaban definidas, los departamentos de la empresa si estaban delimitados pero a pesar de esto todos los miembros de la empresa hacían un poco de cada cosa, muchas veces repitiendo una, dos y tres veces las mismas actividades lo que no reflejaba procesos completos, ordenados y documentados. Durante las entrevistas, se pudo notar que la empresa contaba con una jerarquía o estructura organizacional, con algunos de sus roles y actividades sin documentar y que en últimas muchos de ellos no se realizaban y las pocas y más importantes se solapaban junto con los roles de otras áreas, generando caos y estrés en la disposición del personal por el sobre esfuerzo al realizar actividades sin relación y en muchas ocasiones dejadas a medias o sin terminar por atender múltiples actividades consideradas de mayor prioridad o resolver problemas a medida en que estos aparezcan, lo cual desperdicia demasiado tiempo y desviaba la atención de actividades que requerían mayor atención.

Con los resultados de la valoración, se pudo encontrar que la empresa tiene la iniciativa de mejorar el área de proceso Aseguramiento de la calidad, ya que es una área que se encuentra con el menor nivel de implementación en la empresa y para ellos como empresa, ésta podría ser uno de los casos de mejora, sin embargo esta elección depende también de otros criterios como las necesidades de la empresa.

La elección de los casos de mejora estarán sujetos en primer lugar a las necesidades de la empresa teniendo en cuenta los resultados expuestos en el informe de valoración, en este caso un caso de mejora corresponderá a la mejora de uno de los procesos a mejorar o a crear en la empresa.

Para este ciclo de mejora en la empresa UNISOFT COLOMBIA Ltda..se decidió trabajar con un solo caso de mejora, usando este como una forma de introducir a los miembros de la empresa en este tipo de procesos, pero con la motivación de iniciar posteriormente otro ciclo en donde se trabajarán más casos de mejora en bien de la empresa.

Para este proyecto de mejora, se trabajó con el proceso de Aseguramiento de la calidad del proceso y el producto. Este proceso satisface en gran medida las necesidades de la empresa y está acorde con lo obtenido en la valoración ya que según esta, este es un proceso con baja implementación en la empresa y que para el buen desempeño de la organización, es de gran importancia.

Para este caso, todos los miembros de la empresa y del equipo de mejora estuvieron de acuerdo con la elección, lo cual confirma la gran importancia de la valoración ya que ayudó a confirmar la decisión tomada y a despejar cualquier duda, si no se tuvieran

claras las necesidades de la empresa, la valoración sería el instrumento que ayudaría a tomar esta decisión.

5.7 Aplicación del Programa de Mejora en la empresa UNISOFT Colombia Ltda.

Para empezar se definieron estrategias para el seguimiento y control del programa de mejora; se definieron reglas para la gestión del proceso de mejora. Estas reglas fueron de gran ayuda para llevar registro del seguimiento y del progreso del proceso de manera que se mantuviera un control de las actividades realizadas y las pendientes, procurando cumplir con los cronogramas programados. A continuación se muestran las reglas que se siguieron para este programa de mejora: programar una reunión antes de iniciar cada fase, preparar con anterioridad todas las reuniones, mantener un registro de las reuniones, confirmar la asistencia a las reuniones, revisar periódicamente el cumplimiento de los cronogramas

La actividad valorar correspondiente a la fase de diagnóstico se ubicó en el índice parcialmente implementado debido a la encuesta de valoración, en la cual muchas de las preguntas se respondieron sin satisfacer lo que la empresa expresaba, los resultados obtenidos fueron útiles pero no proporcionaron la suficiente confianza a la empresa al momento de apoyarse en los resultados obtenidos para tomar posteriores decisiones.

Para cumplir satisfactoriamente con la fase de instalación se ejecutaron todas las actividades contenidas en ella, y se generaron las salidas esperadas y recomendadas por el modelo; en esta fase se identificaron las necesidades del negocio y los requisitos de la Mejora, se construyó la propuesta de mejora, se obtuvo su aprobación y se crearon grupos de trabajo y capacitación al personal.

Posteriormente en la Fase de diagnóstico, todas las actividades de esta fase guiaron paso a paso la realización del documento final, se enfocó la mejora hacia las necesidades de la empresa, se concluyó que es fundamental valorar los procesos de la empresa, priorizarlos y documentar las recomendaciones en el documento a generar al final de la fase. El informe de valoración es un documento donde se muestran los resultados entregados por la valoración, según resultados de esta valoración el orden en que están implementadas las áreas de proceso de nivel 2 (de menor a mayor implementación) en la empresa como se muestra a continuación:

1. Aseguramiento de la calidad.
2. Administración de la configuración.
3. Administración de subcontratos de software.
4. Planeación de proyectos software.
5. Administración de requerimientos.
6. Seguimiento del proyecto software.

De lo anterior se llegó a la conclusión que el área de proceso Aseguramiento de la calidad es el área de proceso que se encuentra menos implementada en la empresa y

podría ser esta área uno de los casos de mejora, sin embargo esta elección depende también de otros criterios como las necesidades de la empresa.

Para este ciclo de mejora se trabajó con el área de proceso Aseguramiento de la calidad del proceso y el producto. Esta área de proceso satisface en gran medida las necesidades de la empresa y está acorde con lo obtenido en la valoración ya que según la valoración es el área de proceso menos implementada en la empresa.

Para este caso, todos los miembros del grupo EG de la empresa estuvieron de acuerdo con la elección, lo cual confirma la gran importancia de la valoración ya que ayudó a confirmar la decisión tomada y a despejar cualquier duda, si no se tuvieran claras las necesidades de la empresa, la valoración sería el instrumento que ayudaría a tomar esta decisión.

Como el área “Aseguramiento de la calidad del proceso y el producto” no existía, los miembros de la empresa no tenían mucho conocimiento del contenido del área; tenían claro el objetivo, el enfoque y lo que persigue pero no tenían claro como se podía implementar ni como aplicar algunos conceptos relacionados con el área, para esto se acordó y se organizó una sesión de capacitación del área “Aseguramiento de la calidad del proceso y el producto”, esta sesión mas que capacitación fue una exposición del área de proceso tal como la muestra el modelo CMMI, como resultado de dicha sesión se generó una discusión donde se unificaron y aclararon conceptos. Como resultado de esta fase, se generó, ejecutó y documentó el plan piloto de mejora.

La ejecución de la fase de formulación es de gran importancia porque reúne todo lo establecido en las fases anteriores y es importante definir minuciosamente lo acordado en dicha fase, las actividades contenidas aquí son muy generales y no dan muchas explicaciones de cómo ejecutarlas, pero se sabe que este tipo de modelos solo proporcionan el “qué hacer” y no el “cómo hacerlo”; en esta fase también se pide construir un plan piloto de mejora pero no se explica como se explican otros documentos en la parte del modelo denominada “principales productos de trabajo”, dicha explicación es necesaria porque este plan guía la mejora del área de proceso elegida como referencia para estimativos requeridos en la mejora de las demás áreas de proceso.

Con el proceso de Medición realizado al finalizar este ciclo de mejora en la empresa, se logró recopilar toda la información que alimentará próximos ciclos, comprometiendo y garantizando el apoyo para hacer que las mejoras siguientes continúen.

El proceso de Medición se implementó completamente, cada objetivo de mejora, actividad y producto de trabajo fue medido ampliamente y en varias ocasiones, además se pudo notar que no quedaron productos de trabajo por generar, aportando con este proceso de Medición retroalimentación para la empresa y además para el propio modelo **MLM – PDS** garantizando que se hagan los ajustes necesarios para futuros trabajos, también se creó la base de conocimiento la cual se documenta lecciones aprendidas, impacto de la mejora en el cual se analiza el efecto de la mejora mediante el antes y el después.

5.8 Tiempo de despliegue en las empresas SIDEM Ltda. y UNISOFT Ltda.

La duración de las actividades de evaluación de la mejora de procesos de desarrollo software haciendo uso del **MLM – PDS** para realizar la evaluación de acuerdo a las medidas establecidas por este modelo para analizar los resultados de la mejora, el impacto en el proceso antes y después de la mejora y el compromiso de la gerencia con este tipo de proyectos, fue un tiempo de aproximadamente entre 8 y 24 semanas, esto mientras se lograba contactar a las personas involucradas en el programa de mejora de procesos y debido a que se tomaron medidas en las distintas fases del programa de mejora.

5.9 Aplicación del MLM – PDS en las empresas SIDEM Ltda. y UNISOFT Ltda.

La actividad de medición en las empresas que participaron en los casos de estudio se inició con la formación en el manejo correcto del Paquete de medición del **MLM – PDS** (Anexo 7: Formulario de Recolección de Información y Anexo 8: Tabla de Medidas); esta capacitación fue orientada a cada una de las personas seleccionadas para participar en esta actividad, con la finalidad de recoger datos sobre el estado de los procesos y actividades para medir el proyecto de mejora de la organización.

Una vez realizada la capacitación se inició el proceso de medición, para este proceso se identificaron los procesos involucrados en el proyecto de mejora y los participantes del proceso de medición; se planearon las fechas para realizar las encuestas y recolectar datos en las diferentes etapas del proyecto, se citó en diferentes horarios a los involucrados y se realizaron las respectivas mediciones haciendo uso del Paquete de Medición del **MLM – PDS**.

A través de todo el proyecto de mejora se hicieron diferentes mediciones, y se almacenó esta información, es decir, los Formularios de Recolección de Información y las Tablas de Medidas donde se iban registrando los datos, además se almacenaron también los resultados e indicadores obtenidos, esto para resguardar los valores que se iban generando a lo largo del proyecto y todas las experiencias tanto positivas como negativas, aprendidas y de gran valor en la toma de decisiones para los ciclos de mejora siguientes.

Estas experiencias o lecciones aprendidas fueron recolectadas en la empresa en una base de conocimiento, la cual se creó por ser un primer ciclo de mejora. La base de conocimiento estuvo compuesta además de las experiencias, de toda la documentación o productos de trabajo generados durante este primer ciclo, ya que en el Formulario de Recolección de Información (Ver Anexo 8) existe un campo donde debe hacerse referencia a las evidencias y/o productos de trabajo que es obligatorio, esto, para recolectar dichos elementos y almacenarlos en la base de conocimiento de la empresa.

En esta aplicación del **MLM - PDS** también fue conveniente realizar una retroalimentación de todo el trabajo realizado, donde se presentaron resultados y se ajustaron las medidas del **MLM – PDS** teniendo en cuenta los requerimientos identificados de las empresas en el contexto empírico, también se presentó un informe

referente al trabajo realizado, así mismo se analizó el impacto de la mejora en los procesos de la organización que se trabajaron.

Todo esto siguiendo las sugerencias que plantea el **MLM – PDS** para realizar el proceso de medición descrito en la Capítulo 3 anterior (Ver Ítem 3.5.7)

5.10 Lecciones Aprendidas de los Casos de Estudio

Se han aprendido las siguientes lecciones como resultado de aplicar el Modelo Liviano de Medidas para evaluar la mejora de procesos de desarrollo software MLM - PDS:

- Es necesario que una organización que adopte un determinado modelo o proceso de mejora para mejorar sus procesos a la medida de sus características; y resulta de gran importancia que dicha organización pueda también medir el proyecto de mejora que se encuentra en ejecución ó que ha finalizado; esto incluye realizar mediciones a los documentos, actividades, roles y productos de trabajo, con el fin de obtener información cuantitativa de su proyecto en cuanto al esfuerzo necesario, la eficacia y eficiencia de sus resultados y el impacto dentro de la organización.
- Las mediciones, además de brindar la base cuantitativa que permite ver el estado de un proyecto, proceso ó actividad involucrada con la mejora, debe involucrar activamente la participación del personal de la empresa, permitiendo que ellos en el transcurso del programa de mejora participen en medición y de esta manera puedan ayudar a identificar qué procesos que existen en la empresa necesitan mejorar, las fallas o aciertos de los mismos, todo esto con el fin de que la información recolectada en la medición sea valida y refleje no solo las fortalezas sino también las necesidades del proceso y de los involucrados.
- Es importante tener en cuenta que los esfuerzos por mejorar pueden terminar en falta de interés si no se tienen reportes cuantitativos que indiquen valores ó porcentajes de mejoras obtenidas; a las personas no les agrada trabajar en vano, por esto, es importante que los miembros de la organización vean cuantificados sus esfuerzos y los resultados que se están logrando; y en el caso contrario, si no se evidencia una mejora, puedan cambiar de estrategia para darle un giro a estos indicadores y lograr obtener los buenos resultados con respecto a los objetivos definidos por el proyecto de mejora.
- Es importante medir los resultados en cualquier momento del programa de mejora y también al final del mismo para que la empresa al ver los resultados positivos obtenidos por el programa de mejora mantenga la motivación, el esfuerzo y el interés de todos los involucrados y siga con posteriores ciclos de mejora apuntando a lograr la mejora continua.
- Es importante la unificación de conceptos. Este punto es crítico, pues la idea es que los conceptos que maneja el personal de un proyecto ó programa de mejora debe ser comprensible para todos los involucrados y estos deben

manejar igual terminología para evitar dudas a lo largo del proyecto y de la medición. Es importante que cada uno de los miembros involucrados se entienda con los demás y se hable un mismo "idioma".

- Es recomendable contar con el apoyo de personas con experiencia y conocimiento en la mejora de procesos de software (modelos de evaluación, modelos y procesos de mejora, modelos de calidad, etc) ya que este tipo de personas al tener conocimientos de referentes de calidad y de la aplicación de encuestas y evaluaciones sirven de soporte para que la empresa pueda recurrir a ellos cuando se presenten inconvenientes o dudas en el proceso de medición.
- Es indispensable plantear objetivos medibles al inicio del proyecto de mejora de manera que se pueda llevar un seguimiento y control del cumplimiento de los mismos.
- Es recomendable realizar las mediciones en corto tiempo ya que el hecho de que esta actividad sea muy prolongada debilita el compromiso, la disponibilidad y el entusiasmo de los participantes del proceso y se presta para que la información pierda validez en el momento preciso en que se requiere.
- Cambiar la cultura de los empleados frente a la calidad es un reto que toma tiempo, por ello es importante que el control constante se realice y los empleados perciban que la mejora también los beneficia a ellos, además una vez adoptada la cultura de mejora es mas fácil para el personal nuevo que cumpla con todos los procesos, procedimientos y políticas establecidas en la empresa a causa de un proceso de mejora. Esto se aplica principalmente para las empresas donde se presenta una significativa rotación de personal.
- La base para diseñar e implantar un programa de medida de proyectos de mejora de procesos fácil de aplicar y efectivo es conocer profundamente los elementos sobresalientes y mensurables que conducen al éxito de un programa de este tipo; de igual manera conocer las necesidades de la empresa ya que esto determina en cierta forma los objetivos de mejora de la organización.
- Se requiere que los participantes de la medición del proyecto de mejora tengan conocimiento de los procesos que se realizan en la organización, su funcionamiento, los productos de trabajo, los roles y responsabilidades que tienen al interior de la empresa, de igual manera, los problemas técnicos de la empresa, conocimientos básicos sobre estándares y modelos de mejora y que sean personas comprometidas con mejórale proyecto SPI.
- El éxito de un programa de mejora está basado en el grado de compromiso y el cumplimiento del mismo desde el inicio del proyecto SPI, si la empresa aún con limitaciones como tiempo, presupuesto o personal está dispuesta a mejorar el desempeño de su empresa, tiene buenas posibilidades de lograrlo. El hecho de conocer resultados cuantitativos que se están obteniendo con la mejora mediante el **MLM – PDS** de manera continua motiva al personal involucrado y a

la empresa en general a realizar esfuerzos por implantar este tipo de programas.

- Es importante establecer reglas para controlar la información de las mediciones y el resguardo de la información y de los resultados obtenidos, esto, porque es importante mantener almacenada en una base del conocimiento, las lecciones aprendidas y los resultados de los esfuerzos de mejora ya que sirven como línea base para ciclos de mejora posteriores ó para nuevos proyectos.
- Es importante conseguir resultados rápidamente para mantener la motivación, el esfuerzo y el interés en el programa de mejora, por ello es bastante importante medir y demostrar con resultados cuantitativos lo que se está logrando con este tipo de esfuerzos.
- El proceso de medición ó evaluación, al igual que el programa de mejora debe ser planeado en intervalos cortos de tiempo para lograr un control permanente sobre todo el proyecto de mejora, y se deben asignar los recursos necesarios para su desarrollo.
- Debe existir una excelente comunicación con los representantes de la alta gerencia o alguien encargado de proporcionar soporte y apoyo logístico en la medición de la mejora de procesos, ya que se requiere que ésta persona convoque al personal para recolectar la información y para realizar también sus aportes.
- Las organizaciones no siempre tienen claro lo que quieren y mucho menos como lograr lo que quieren, mediante la medición de procesos pueden percibir que necesidades tienen y mediante sus esfuerzos de mejora y su continua evaluación, pueden ver resultados y comparar los beneficios que están alcanzando.
- Se han podido detectar y corregir errores en la descripción textual de los procesos, esto debido a la unificación de conceptos aportada por el MLM – PDS y la Ontología de Medición utilizada; además se ha podido adicionar información sobre los procesos que no estaba documentada.
- Contar con un modelo de medida facilita el desarrollo de las actividades de evaluación lo que ayuda a automatizar este proceso de medir y de obtener indicadores para determinar qué tan efectivo resulta implementar un programa de mejora de procesos.
- Se le ha podido proporcionar a las empresas una terminología única e integrada a la hora de abordar el proceso de medición en la organización.
- La terminología utilizada en el modelo se ha representado de manera que el modelo que facilita la recolección de la información relativa al proceso de mejora, no sólo fundamentada en recoger valores concretos, sino además indicar de forma precisa los datos asociados a dichos valores.

- Hasta el momento, la forma de medición de la empresa se basaba en definir indicadores aislados para evaluar el rendimiento del proceso. Con el modelo propuesto, pueden representarse no sólo los indicadores genéricos de un proyecto, sino las necesidades de información de la empresa que las medidas del **MLM - PDS** satisfacen, así como todos los elementos que hay que definir claramente hasta llegar a obtener los indicadores (entidades, medidas directas, medidas indirectas, métodos de medición, etc.).
- Desde el punto de Vista de la Investigación se ha confirmado la importancia de tener definidos los procesos software como paso previo al establecimiento de programas de medición y mejora, ya que no tener definidos los procesos conduce a que se realicen esfuerzos muchas veces innecesarios y se sobrepasen los costos estimados.
- Es importante representar de forma consistente la terminología relacionada con la medición y de aplicarla no aisladamente, sino de forma integrada y sistemática en la organización.

5.11 Conclusiones de los Casos de Estudio

- En algunos casos las MiPyMES no están en capacidad de contratar una persona dedicada solamente a un proceso, ni tampoco que uno de sus empleados dedique menos tiempo o descuide su labor principal dentro de la empresa para dedicárselo al proyecto de mejora de procesos, esto no es recomendable para su negocio ni para sus clientes y para evitar este tipo de situaciones, el **MLM – PDS** permite estimar y medir el esfuerzo necesario para que a partir de esta base la empresa pueda establecer muy bien los roles y el tiempo dedicado a las actividades que involucra un proyecto de mejora y no vea perjudicada ninguna de las labores de la empresa.
- La medición es fundamental, pues expone el grado de implementación ó de cumplimiento de cada uno de los elementos representativos y mensurables de la mejora de procesos de desarrollo software que ejecuta una organización, y sirve como base para posteriores ciclos de mejora dentro de la misma empresa ó como referente para emprender esfuerzos de mejora en otras organizaciones.
- Realizar este tipo de trabajos ayuda al crecimiento y fortalecimiento de la industria dedicada al desarrollo de software, a la vez que permite a los grupos de investigación contrastar las bases teóricas con la implementación practica al interior de una empresa y contribuye de igual manera a la formación de los estudiantes, permitiendo involucrarnos con el entorno en el que nos vamos a desempeñar como futuros profesionales, despertando el deseo e interés de contribuir con las empresas de nuestra región.

- El Modelo Liviano de Medidas **MLM – PDS** adopta el propósito perseguido de ser un modelo liviano, fácil de aplicar en empresas que cuentan con poco personal y bajo presupuesto y no es un modelo extenso lo que facilita su entendimiento y adopción. Es importante tener en cuenta que el modelo debe adaptarse a las características propias de cada empresa.
- Mejorar los proceso de una empresa requiere compromiso, visión y organización, por lo cual haber participado en este trabajo no solo deja la experiencia profesional de haber iniciado un proceso de mejora y haber tenido la oportunidad de evaluar el mismo y comprobar sus resultados, sino que también sirve para el enriquecimiento personal, ya que el concepto que involucra la evaluación y la mejora continua, se aplica también al día a día y al desempeño personal en cualquier área y en la vida cotidiana de cada persona.
- Las personas que ya estuvieron en un primer ciclo de mejora y pertenezcan también a otras áreas de proceso de la empresa que van a ser mejoradas pronto pueden aportar y trabajar de una mejor manera en los siguientes ciclos de mejora, gracias a que el **MLM –PDS** les permite determinar aspectos a mejorar y lo que éstos aspectos aportan en beneficio propio y colectivo y también a la experiencia ganada por participar en este tipo de proyectos.
- La aplicación de **MLM-PDS** en casos de estudio de algunas empresas del sector informático del sur occidente colombiano, permitió el refinamiento y ajuste de las medidas usadas para la construcción del Modelo.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

Hoy en día, la mejora del proceso software se ha convertido en uno de los objetivos estratégicos fundamentales en las organizaciones a la hora de promover la mejora de la calidad de sus productos. Para poder implantar un programa efectivo de mejora es muy importante establecer un buen marco de trabajo que permita que cada organización comprenda y defina de forma efectiva los procesos que lleva a cabo, y que le permita realizar adecuadamente la evaluación de sus procesos en base a la medición de los mismos. En el presente trabajo se ha propuesto un Modelo Liviano de Medida para dar soporte a la evaluación de la mejora de los procesos software, esto independiente del modelo, proceso o marco de trabajo elegido para llevar a cabo la mejora; en el cuál se ha presentado un conjunto representativo de medidas para programas de mejora de procesos que involucran las tres entidades software: Proyecto, Proceso y Producto. Estas medidas pueden ser utilizadas como indicadores de efectividad y desempeño del proyecto de mejora que realiza una empresa y que permiten evaluar la importancia de los cambios que son consecuencia de la mejora de los procesos.

Con el Modelo Liviano de Medidas **MLM – PDS** propuesto, una organización dedicada al desarrollo y/o mantenimiento del software podría evaluar sus programas de mejora de procesos de una forma efectiva. Este modelo es fácilmente aplicable a las MiPyMES ya que fue desarrollado con base en las actividades y/o prácticas desarrolladas por este tipo de organizaciones.

A continuación evalúa el grado de cumplimiento del objetivo general, de cada uno de los objetivos específicos y del objetivo general registrado para este Trabajo de Grado en el anteproyecto donde se presenta la propuesta del proyecto.

Objetivo Específico 1

Identificar un conjunto de medidas que permitan medir la capacidad del proyecto de SPI de las MiPyMES y el desempeño y efectividad de éste en términos de costos, tiempos y control de riesgos para la organización.

♣ Este modelo es fácilmente aplicable a las MiPyMES ya que fue desarrollado con base en las actividades y/o prácticas desarrolladas por este tipo de organizaciones.

♣ Los indicadores de Capacidad, hacen referencia a las características y capacidades del proceso a nivel general (las prácticas, los recursos e infraestructura); el **MLM - PDS** define este tipo de indicadores de acuerdo a unos criterios adaptados especialmente a los elementos más importantes y representativos de las prácticas propias de este tipo de empresas: MiPyMES ya que fue desarrollado con base en las actividades y/o prácticas desarrolladas por estas organizaciones.

♣ Las medidas e Indicadores identificados permiten medir el desempeño y la efectividad de un programa de mejora en términos de costos, tiempo y recursos y al

ser aplicable en cualquier momento del proyecto de mejora ayuda a disminuir riesgos asociados a malgastar tiempo y recursos que no pueden poner en riesgo. Además esta misma característica ayuda a que el proyecto sea controlado permanentemente.

♣ El Modelo **MLM - PDS** es un modelo aplicable a las MiPyMES, pues define unos criterios adaptados especialmente a los elementos más importantes y representativos de las prácticas propias de estas empresas; el resultado obtenido de la medición, permitirá a las empresas afianzar sus fortalezas, descubrir sus debilidades y definir estrategias de impacto que brinden la oportunidad de mejora y calidad en sus procesos y productos.

Objetivo Específico 2

Crear un conjunto de medidas que combine las metodologías formales existentes y asocie cada medida a un objetivo claro y definido respecto a lo que se pretende evaluar con el proceso de medición.

♣ Se ha realizado un estudio detallado de los procesos software, de los elementos más importantes a tener en cuenta a nivel de procesos y proyectos y desde el punto de la mejora de procesos y su medición.

♣ Con respecto a los modelos de procesos, se han presentado las propuestas más significativas, destacándose la importancia de disponer de un referente común, y se han presentado los modelos de madurez, estándares y los métodos más representativos relacionados con la evaluación y mejora de los procesos software. Desde el punto de vista de la medición de los procesos, se ha realizado un análisis de los principales elementos incluidos en la medición de los mismos, y sobre los principales estándares y metodologías para la medición del software. Además, se ha realizado un estudio sobre las propuestas más significativas de métricas para las distintas entidades software.

♣ Adicional a esto se utilizó el método de definición de medidas GQM el cuál es el resultado de muchos años de experiencia práctica e investigación académica. El principio básico que subyace tras el método GQM es que la medición debe ser realizada, siempre, orientada a un objetivo. GQM define un objetivo, refina este objetivo en preguntas y define métricas que intentan dar información para responder a estas preguntas. El resultado de aplicar la aproximación GQM es un modelo en tres niveles: el nivel conceptual en el que se definen los objetivos (*goal*), el nivel operacional en el que se definen las preguntas (*question*) y el nivel cuantitativo en el que se definen las métricas (*metric*). De esta forma, el objetivo se define mediante una serie de preguntas y cada pregunta se redefine a través de unas métricas tal y como se ha desarrollado el Modelo Liviano de Medidas **MLM – PDS**.

Objetivo Específico 3

Validar teóricamente las medidas creadas.

♣ Las medidas que conforman el **MLM – PDS** no requieren de una validación teórica mediante el uso de técnicas formales debido a que son medidas que ya han sido definidas y validadas por sus respectivos creadores; por lo cuál para satisfacer este objetivo, se realiza una justificación de la escogencia y utilización para la construcción del Modelo Liviano de Medida **MLM – PDS**; en el capítulo 4 se explica el porqué de la elección de cada medida mediante el método de control estadístico.

Objetivo Específico 4

Validar empíricamente las medidas creadas, mediante un caso de estudio en una empresa piloto.

♣ Este objetivo ha sido cubierto mediante la validación de forma empírica del Modelo Liviano de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Desarrollo Software mediante dos casos de estudio donde se realizó la evaluación de los programas de mejora de dos empresas distintas SIDEM Ltda. y UNISOFT Ltda. dedicadas al desarrollo y mantenimiento de Software. A partir de los casos de estudio realizados se ha podido establecer un conjunto significativo de medidas tipo indicador (**CP, CPT, CA, IE, IEficacia, IEficiencia, IQ, IPT, IEZ**) que son indicadores de la cobertura, la eficacia, la eficiencia y el esfuerzo de un programa de mejora de procesos software. Para ello se planificó y se llevó a cabo la ejecución de dos casos de estudio descritos detalladamente en el Capítulo 5.

Objetivo Específico 5

Integrar el Modelo Liviano de Medida para la Mejora de Procesos SPI, al Framework de Agile SPI.

♣ Este objetivo se satisface mediante la integración del MLM –PDS al Framework de Agile SPI, lo cuál también se logró realizar y presentar como propuesta a nivel Iberoamericano, la integración del **MLM-PDS** a proyectos como **SIMEP-SW** termina con la propuesta inicial de crear **Agile SPI – Framework** donde se presentan un marco conceptual y tecnológico para la definición, visualización y aplicación de procesos, conformado por modelos para establecer y guiar la mejora de procesos software.

♣ Resulta satisfactorio aportar un “Modelo de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Software **MLM - PDS**” con el que se pretende servir como punto de apoyo y complemento a la planeación, gestión y control de la mejora continua de procesos de software independientemente del modelo de calidad, procesos o metodología de desarrollo usada y hacer parte de la culminación del proyecto de mejora **SIMEP-SW**.

Objetivo General.

Construir un modelo liviano de medida, para evaluar la mejora de procesos de una organización de desarrollo de software, ajustado a las características y necesidades de la industria de software nacional.

♣ Teniendo en cuenta la consecución de los objetivos específicos, se puede decir que el objetivo general del presente trabajo se ha cumplido, ya que se ha establecido un Modelo de Medidas para evaluar la mejora de procesos de una organización de desarrollo de software. Además de esto mediante la investigación exhaustiva en la MiPyMES y mediante la validación empírica se pudo comprobar que el **MLM – PDS** satisface los requerimientos de la industria de software colombiana, conformada en su mayoría por micro, pequeñas y medianas empresas, ya que es un modelo basado en criterios adaptados a los elementos más importantes y representativos de las prácticas propias de este tipo de organizaciones y se caracteriza por su facilidad de aplicación, y facilidad de entendimiento, además aplicar este modelo no resulta costoso para una MiPyME.

A continuación se presentan otras conclusiones del proyecto, recomendaciones y perspectivas para trabajos futuros relacionados con la temática:

- El **MLM – PDS** es un modelo de medida que manera objetiva y estructurada permite medir la mejora de procesos de desarrollo el software y el aporte radica en la objetividad de la medición, debido a que actualmente las mejoras introducidas por esfuerzos de mejora de procesos software se evalúan a través de procesos informales y subjetivos basados en la percepción de los empleados y/o auditores, y no a través de procesos formales.
- El **MLM –PDS** permite evaluar la efectividad del proceso de mejora de los procesos de desarrollo de software, a través del establecimiento de elementos mediante los cuales se pueda verificar si el SPI implementado por la empresa es efectivo en relación con los objetivos y metas definidos por la misma.
- El **MLM - PDS** a partir de la medición del proceso SPI realizado dentro de las organizaciones permite obtener como resultado indicadores que se puedan analizar para identificar las fortalezas, debilidades y riesgos inherentes al SPI que implementa la organización y determinar así que tan efectivo es respecto a los objetivos planteados por dicha organización.
- Las empresas que hagan uso del **MLM - PDS** se verán beneficiadas ya que los indicadores del modelo les servirán como guía cuantitativa del estado del proyecto de mejora y les ayudará a gestionar, mantener y controlar programas de mejoramiento de procesos de software de una manera ordenada, adecuada a sus características, considerando factores básicos y necesarios para determinar qué tan efectivo es un programa de este tipo, además que aporta facilidad de entendimiento, requiere pocos recursos.
- Modelos, guías o procesos de mejoramiento de procesos de software junto con los modelos de calidad, han logrado indiscutiblemente incrementos en la calidad de los procesos y por consiguiente de los productos generados por las empresas; desde

este punto de vista la medición contribuye tanto en el control de los procesos y actividades como en el de los productos, para comprender la situación de los mismos y para determinar si cumplen los requisitos establecidos o un cierto nivel de calidad.

- Las necesidades de la industria software se ven reflejada en la continua búsqueda de modelos y metodologías de mejora de procesos software adaptado a las características específicas de las PyMES, esto es un gran comienzo y modelos con estos requerimientos han sido desarrollados por diversas iniciativas, hasta el momento hay algunas aproximaciones a modelos de medidas pero el **MLM – PDS** refleja las necesidades de nuestras empresas y soporta las características más importantes y diferenciadoras, como lo son: los recursos humanos, económicos, proyectos y procesos.
- **MLM - PDS** es independiente del modelo ó referente de mejora que se utilice y del modelo de referencia a usar, no se limita a evaluar la mejora de procesos de software en base a un modelo de calidad, este puede ser usado para evaluar la mejora de procesos de cualquier empresa tomando referentes o metodologías de desarrollo de software como XP, UP, lineal, cascada, etc. Ya que evalúa aspectos adaptables y generales a cualquier proyecto de mejora.
- El **MLM –PDS** permite evaluar la eficacia del proceso de mejora de los procesos de desarrollo de software, a través del establecimiento de elementos mediante los cuales se pueda verificar si el SPI implementado por la empresa es efectivo en relación con los objetivos y metas definidos por la misma.
- Un aporte significativo del **MLM – PDS** es la adaptación de técnicas de definición de medidas, metodologías de trabajo y modelos de mejora de procesos de software a las necesidades y características de la industria del desarrollo de software en Colombia, especialmente en la micro, pequeña y mediana empresa.
- Resulta satisfactorio aportar un “Modelo de Medidas para Evaluar la Mejora de Procesos de Software **MLM - PDS**” con el que se pretende servir como punto de apoyo y complemento a la planeación, gestión y control del mejoramiento continuo de procesos de software independientemente del modelo de calidad, procesos o metodología de desarrollo usada (CMM, CMMI, MoProSoft), norma (ISO 9000, ISO/IEC 15504) o metodología de referencia (UP, cascada, Lean Development, XP, etc).
- Se recomienda la divulgación del modelo, puesto que éste es de gran importancia en la evaluación de la efectividad de la mejora de procesos de software de la industria desarrolladora de software de nuestra región, permitiéndoles obtener resultados cuantitativos en cualquier momento de la ejecución del proyecto y brindándoles la oportunidad de adquirir un mejor posicionamiento a nivel competitivo con la mejora de sus procesos.
- Se recomienda seguir ejecutando y experimentando en este tipo de programas o proyectos de mejora, teniendo en cuenta las experiencias, lecciones aprendidas y

conclusiones derivadas en la aplicación y ajuste obtenidos en los casos de estudio descritos en este trabajo.

- Se recomienda a la industria del software en especial en el contexto de las PyMES, la experimentación, ejecución y gestión de proyectos de mejora con la utilización de los diferentes modelos de calidad y mejora de procesos desarrollados en la Universidad [95][45] dentro de los diferentes proyectos de investigación y con el modelo propuesto en este trabajo de grado, **MLM – PDS**.
- La integración de **MLM-PDS** a proyectos como SIMEP-SW termina con la propuesta inicial de crear un framework (**Agile SPI – Framework**) donde se presenta un marco conceptual y tecnológico para la definición, visualización y aplicación de procesos, conformado por modelos para establecer y guiar la mejora de procesos software; **MLM-PDS** termina el ciclo de desarrollo de conocimiento y bases conceptuales del Framework y permite realizar la medición del programa de mejora SPI antes, durante y después del mismo mediante estimaciones y mediciones, lo que facilita la realización de comparaciones y la estimación del impacto del programa SPI en la organización.
- Es importante que el estado, las entidades financiadoras de proyectos de investigación y desarrollo (I+D) y proyectos de investigación como COMPETISOFT³⁸, sigan apoyando este tipo de iniciativas en la mejora de los procesos de software, factor que está siendo determinante y obligatorio en la inmersión en mercados internacionales.
- La mejora de procesos de software y demás temas afines a la calidad es un campo que está madurando; el **MLM - PDS** abre la posibilidad de seguir investigando y trabajando en este escenario desde el punto de vista de la medición de la mejora de procesos. Los futuros proyectos de investigación e investigadores en este contexto, cuentan desde ya con una base teórica y metodológica inicial para seguir aportando a la evolución, diferenciación y posicionamiento de las empresas de la industria de software colombiana.

³⁸ COMPETISOFT: Proyecto de Investigación: Mejora de Procesos para Fomentar la Competitividad de la Pequeña y Mediana Industria del Software de Iberoamérica.

Capítulo 7. Referencias Bibliográficas.

- [1]. BUSINESS SOFTWARE ALLIANCE. Promoviendo un mundo digital y seguro. Disponible al 10 de Noviembre de 2006 en: <http://www.bsa.org/colombia/>
- [2]. ISO/IEC. (2002). ISO 15939: Software Engineering - Software Measurement Process.
- [3]. AVERSANO, L., BODHUIN, T., CANFORA, G. y TORTORELLA, M. (2004). A Framework for Measuring Business Processes Based on GQM. Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'04), Big Island (Hawaii).
- [4]. PETERSON, B. (1995). Software Engineering Institute. Software Process Improvement and Practice (Pilot Issue), p.p. 68-70.
- [5]. Scott, L., R. Jeffery, L. Carvalho, J. D'Ambra, and P. Rutherford. Practical Software Process Improvement -The IMPACT Project in Proceedings of the Australian Software Engineering Conference. 2001. p.p. 182-189.
- [6]. PARDO, C., FERNÁNDEZ, L., VIDAL, C. Proceso Ágil para la mejora de procesos de software: Agile SPI – Process. Proyecto SIMEP-SW. Universidad del Cauca. Popayán, 2006. Mayer & Bunge Informática LTDA. Panorama de la Industria Latinoamericana de Software. Brasil. p.p. 97. 2004.
- [7]. DERNIAME, J.-C., A.B. KABA, and B. WARBOYS, The Software Process: Modelling and Technology, in Software process: principles, methodology, and Technology, C. Montenegro, Editor. 1999, Springer: Germany. p.p. 1-12.
- [8]. FLORAC, W.A., R.E. Park, and A.D. Carleton, Practical Software Measurement: Measuring for Process Management and Improvement. 1997, Pittsburgh: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. p.p.1-12.
- [9]. GÓMEZ, O., H. OKTABA, F. GARCIA, and M. PIATTINI, A systematic review measurement in Software Engineering: State-of-the-art in measures. 2006, Universidad Castilla-La Mancha: Ciudad Real.
- [10]. NAUR P., RANDELL B. (Eds.): Software Engineering: Report of a conference sponsored by the NATO Science Committee, Garmisch, Germany, 7-11 Oct. 1968, Brussels, Scientific Affairs Division, NATO (1969).
- [11]. Software Engineering Institute. Capability Maturity Model Integration (CMMISM), version 1.1. Software Engineering Institute. 2003. Disponible al 10 de Noviembre de 2006 en: <http://www.sei.cmu.edu/cmmi>.
- [12]. Solingen, R.v. and Berghout, E. The Goal Quesiton Metric Method - A practical guide for Quality Improvement of Software Development. Mc Graw Hill. 1999.
- [13]. CHRISISS M. B., KONRAD M. SHRUM Sandy, *CMMI@: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*, Addison-Wesley, 1st Edition, Carnegie Mellon Software Engineering Institute. USA. 2003.
- [14]. ISO/IEC. (2002). ISO 15939: Software Engineering - Software Measurement Process.
- [15]. Modelo de Procesos para la Industria del Software. Asociación Mexicana para la Calidad en Ingeniería de Software. Disponible al 26 de Enero de 2007 en: <http://www.moprosoft.turincon.com/>
- [16]. BEDINI, G. Alejandro, Msc. Extracto del libro "*Calidad Tradicional y de Software*". Universidad Técnica Federico Santa Maria. Industrias Campus Santiago de Chile. 2002. Documento digital.
- [17]. PRESSMAN, Roger. Ingeniería del Software Un Enfoque Práctico. Ed. Prentice Hall. Madrid España, 2002, p.p. 131-150.
- [18]. ISO. *International Organization for Standardization*. Norma UNE-EN ISO 9000:2000 Apartado 3.1.1.

- [19]. MONTILVA, C. Jonás A., Ph.D. *Mejoramiento de los procesos de desarrollo de software*. Universidad de Los Andes Facultad de Ingeniería Postgrado en Computación Mérida, Venezuela. 2002.
- [20]. GUERRERO, Luciano. *Mejoramiento de procesos*. 1999-2000. Último acceso martes, 10 de octubre de 2.006. <http://www.geocities.com/SiliconValley/Lab/3629/mejoramamiento.htm>
- [21]. VISCONTI, Z. Marcello, Dr. Proyecto FONDECYT. "Calidad y Mejoramiento de Procesos de Software: Herramientas Específicas, Procesos Genéricos y Mejores Prácticas para Cerrar la Brecha entre el Diagnóstico - Planificación y la Acción Práctica". Departamento de Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María. Último acceso lunes, 13 de marzo de 2.006. <http://www.inf.utfsm.cl/~cistrary/descripcion.html>.
- [22]. DE LA VILLA, Manuel. RUIZ, Mercedes. RAMOS, Isabel. *Modelos de Evaluación y Mejora de Procesos: Análisis Comparativo*. Proyecto CICYT. 2.004.
- [23]. ISO/IEC. (1998a). *ISO/IEC 15504 TR2:1998, Software Process Assessment - Part 2: A reference model for processes and process capability*. International Organization for Standardization.
- [24]. ISO/IEC. (1995). *ISO/IEC 12207 – UNE 71044 (1999) Tecnología de la Información Proceso de Ciclo de Vida del Software*. AENOR – Asociación Española de Normalización y Certificación.
- [25]. ISO/IEC. (2002). *ISO/IEC 12207 AMENDMENT 1: Information Technology - Software Life Cycle Processes Amendment 1*. International Organization for Standardization.
- [26]. GARCÍA, Félix. Marco de Trabajo Integrado para el Modelado y la Medición de los Procesos Software. Tesis Doctoral. Departamento de Informática. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real. 2004.
- [27]. Software Engineering Institute (SEI -1995). *The Capability Maturity Model: Guidelines for Improving the Software Process*. Software Engineering Institute. Disponible al 10 de Abril de 2007 en: <http://www.sei.cmu.edu/cmm>
- [28]. Software Engineering Institute (SEI - 2002). *Capability Maturity Model Integration (CMMISM), version 1.1*. Software Engineering Institute. Disponible al 10 de Abril de 2007 en: <http://www.sei.cmu.edu/cmmi>
- [29]. ISO/IEC 15504 TR2:1998, (1998a) *Software Process Assessment - Part 2: A reference model for processes and process capability*. International Organization for Standardization.
- [30]. ISO/IEC 15504 TR2:1998, (1998b) *Software Process Assessment - Part 7 : Guide for Use in Process Improvement*. International Organization for Standardization.
- [31]. ISO/IEC 15504 (1998c) TR2:1998, *Software Process Assessment - Part 4: Guide to conducting assessment*. International Organization for Standardization.
- [32]. ISO/IEC. (2000). *Quality management systems - Fundamentals and vocabulary*. ISO 9000:2000. International Organization for Standardization.
- [33]. GUERRERO, Luciano. 1999-2000. *Evaluación de proyectos*. Disponible al 10 de Noviembre de 2.006. www.geocities.com/SiliconValley/Lab/3629/evaluand.htm
- [34]. Byrnes, P. y Philips, M. *Software Capability Evaluation Version 3.0. Method Description*. Technical Report CMU/SEI-96-TR-002 ESC-TR-96-002. 1996.
- [35]. SCOTT, L. JEFFERY, R. CARVALHO, L. D'AMBRA, J. RUTHERFORD, P. *Practical Software Process Improvement – The IMPACT Approach in Proceedings 2001 Australian Software Engineering Conference*, pp. 182-189, IEEE Computer Society Press, 2001. The University of New South Wales.
- [36]. MCFEELEY, Bob. *IDEAL: A User's Guide for Software Process Improvement*. Software Engineering Institute (SEI) Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania. CMU/DEI-96-HB-001, febrero 1.996.
- [37]. PARDO, C., FERNÁNDEZ, L., VIDAL, C. *Proceso Ágil para la mejora de procesos de software: Agile SPI – Process*. Proyecto SIMEP-SW. Universidad del Cauca. Popayán, 2006.

- [38]. HUMPHREY, W. Introduction to Team Software Process. Addison Wesley. 2000.
- [39]. ALQUICIRA ESQUIVEL, Claudia, M. en C. *Programa de mejora, una carrera por la mejora que no tiene meta*. Disponible al 10 de Noviembre de 2006 en: http://www.avantare.com/articulos/novedades_articulodelmes.html
- [40]. MOEN, Ronald D. NOLAN, Thomas W. PROVOST, Lloyd P. Traducción libre del cap. 1 "Improvement of Quality" del libro *Improving Quality Through Planned Experimentation*. Ed. McGraw-Hill. Disponible al 22 de Diciembre de 2.006 en: <http://correo.udlap.mx/~jtambore/mej-cal/mej-cal.html>
- [41]. SYNSPACE. *Evaluación y Análisis de los Procesos de Desarrollo de Software*. 2003. Disponible al 10 de octubre de 2.006 en: <http://www.synspace.com/ES/Assessments/spa.html>
- [42]. TANTARA INC. *Software process improvement & related standards/models*. Business consulting firm specialized in software best practices and the improvement of process effectiveness and software product/service potential. Julio 24 del 2.001. Disponible al 10 de octubre de 2.006 en: http://www.tantara.ab.ca/a_stds.htm
- [43]. CHAPELA, C. Leonardo. Dr. *Calidad Y Competitividad En La Industria Del Software*. Prodigia. Septiembre de 2001.
- [44]. ZAHARAN, Sami. "Software Process Improvement: Practical Guidelines for Business Success". Software Engineering Institute. 1998.
- [45]. PARDO, César, FERNÁNDEZ, Luis. Proceso Ágil para el Mejoramiento de Procesos de Desarrollo de Software para PYMES - Agile SPI - Process. Popayán, 2.006. Trabajo de Grado (Ingenieros de Sistemas). Universidad del Cauca. Facultad Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Departamento Ingeniería de Sistemas.
- [46]. MAS, Antonia. AMENGUAL, Esperanza. *La mejora de procesos de software en las pequeñas y medianas empresas. Un nuevo modelo y su aplicación a un caso real*. Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software. Volumen 1, No. 2, ISSN: 1885-4486. Diciembre de 2005.
- [47]. ESSI. *ESSI: European Software and System Initiative*. Disponible al 10 de octubre de 2.006 en: http://www.cordis.lu/esprit/src/essi.htm#ch1_1
- [48]. SPIRE. *Software Process Improvement in Regions of Europe, SPIRE*. Disponible al 10 de octubre de 2.006 en: <http://www.cse.dcu.ie/spire>
- [49]. ESPINOIDE. *ESPINOIDE: ESSI (European Software and System Initiative) PIE (Process Improvement Experiments) Nodes*. Disponible al 10 de octubre de 2.006 en: <http://www.cordis.lu/esprit/src/stessi.htm>
- [50]. TOPS. TOPS: Toward Organised Software Processes in SMEs. 27977 TOPS –ESPINOIDE for Central Italy. "Rapid Software Process Assessment to Promote Innovation in SME's". 1999.
- [51]. LIED, H. J. "Experience from process improvement in a SME". Proceedings of the European Software Process Improvement conference, Octubre 1999.
- [52]. CALVO-MANZANO, J. A. *Método de mejora del proceso de desarrollo de sistemas de información en la pequeña y mediana empresa*. Ph. D. Thesis, Universidad de Vigo, 1999.
- [53]. KAUTZ, K., WESTERGAARD, H. THAYSEN, K. "Applying and Adjusting a Software Process Improvement Model in Practice: The Use of the IDEAL Model in a Small Software Enterprise". *Proceedings of the International Conference on Software Engineering*. Junio de 2000, pp. 626-633.
- [54]. MCFEELEY, Bob. *IDEAL: A User's Guide for Software Process Improvement*. Software Engineering Institute (SEI) Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania. CMU/DEI-96-HB-001, febrero 1.996.
- [55]. BATISTA, J., DIAS DE FIGUEIREDO, A. "SPI in a Very Small Team: a Case with CMM". *Software Process: Improvement and Practice*, vol. 5, n° 4. Diciembre de 2000. pp. 243-250.

- [56]. HORVAT, R.V., ROZMAN, I. and GYORKOS, J. "Managing the Complexity of SPI in Small Companies". *Software Process: Improvement and Practice*, vol. 5, n° 1. Marzo de 2000, pp. 45-54.
- [57]. LEUNG, H., YUEN, T. "A Process Framework for Small Projects". *Software Process: Improvement and Practice*, vol. 6, n° 2. Junio de 2001, pp. 67-83.
- [58]. BEECHAM, S., HALL, T., RAINER, A. "Software Process Improvement Problems in Twelve Software Companies: An Empirical Analysis". *Empirical Software Engineering*, vol. 8, n° 1. Marzo de 2003, pp. 7-42.
- [59]. OKTABA, Hanna. Energía e Industria. *Moprosoft: el nuevo modelo que impondrá una norma mexicana para la calidad en la industria del software*. Entrevista con la Dra. Hanna Oktaba, presidenta de la Asociación Mexicana para la Calidad en Ingeniería de Software. Boletín IIE, Julio-Septiembre de 2003.
- [60]. OKTABA, Hanna. *Modelo de Procesos para la Industria de Software MoProSoft*. Versión 1.1 Mayo de 2003.
- [61]. DYBA, Tore. *Factors of Software Process Improvement Success in Small and Large Organizations: An Empirical Study in the Scandinavian Context*. Proceedings of the 9th European software engineering conference held jointly with 11th ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering. 2003.
- [62]. GUERREO, F., ETEROVIC, Y. "Adopting the SW-CMM in a Small IT Organization". *IEEE Software*, vol. 21, n° 4. Julio-Agosto 2004, pp. 29-35.
- [63]. KIVAL C. Weber. ROCHA, A. Regina. ALVES, Angela, AYALA, Arnaldo M. GONÇALVES, Austregésilo. PARET, Benito. SALVIANO, Clénio. MACHADO, Cristina F. SCALET, Danilo. PETIT, Djalma. ARAÚJO, Eratóstenes. BARROSO, Márcio Girão. OLIVEIRA, Kathia. OLIVEIRA, Luiz Carlos A. AMARAL, Márcio P. CAMPELO, Renata Endriss C. MACIEL, Teresa. *Modelo de Referência para Melhoria de Processo de Software: uma abordagem brasileira*. 2004.
- [64]. VIDAL, J. Carlos. Propuesta para la convocatoria de proyectos de investigación científica y tecnológica. Sistema Integral Para El Mejoramiento De Los Procesos De Desarrollo De Software En Colombia (Simep-SW). Junio 2003.
- [65]. MAS, Antonia. Un Nuevo Modelo para la Implantación de un Sistema de Gestión de Calidad en Pymes de Desarrollo de Software basado en SPICE (ISO/IEC 15504). Ph. D. Thesis, Universitat de les Illes Balears, 2005.
- [66]. FENTON, N. Metrics for Software Process Improvement. *Software Process Improvement: Metrics, Measurement and Process Modelling* (pp. 34-55). Springer, 2001.
- [67]. PRESSMAN, R. Ingeniería del Software. Un enfoque práctico. McGraw-Hill. 2001.
- [68]. MACDONELL, S., SHEPPERD, M., and SALLIS, P., Metrics for Database Systems: An Empirical Study, in Proceedings of the 4th International Symposium on Software Metrics, IEEE Computer Society: Albuquerque. May, 1997.
- [69]. BRIAND, L.C., MORASCA, S., and BASILI, V.R., An Operational Process for Goal- Driven Definition of Measures. *IEEE Trans. Software Engineering*. Diciembre de 2002. pp. 1106-1125.
- [70]. CHAMPEAUX, D., Object-oriented Development Process and Metrics. Prentice-Hall. 1997.
- [71]. PFLEEGER, S.L., Guest Editor's Introduction: Assessing Measurement. *IEEE Software*. Marzo de 1997. pp. 25-26.
- [72]. ISO/IEC, Software and Systems Engineering - Guidelines for the application of ISO/IEC 9001:2000 to Computer Software. International Standards Organization, Genova, Switzerland, 2004.
- [73]. GARCÍA, F., RUIZ, F., BERTOIA, M.F., FERREIRA, M., CALERO, C., MORA, B., MARTÍN, M., VALLECILLO, A., y PIATINNI, M., Medición del Software Ontología y Metamodelo. Informe Técnico UCLM-TSI-001. Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información, Universidad de Castilla-La Mancha, España, Noviembre de 2006.
- [74]. ISO/IEC, VIM - International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology. International Standards Organization. Genova, Switzerland, 1993.

- [75]. GARCÍA F., BERTO M. F., CALERO C., VALLECILLO A., RUÍZ F., PIATTINI M., GENERO M., "Towards a consistent terminology for software measurement", *Information and Software Technology*. pp. 1-14. 2005.
- [76]. GARCÍA, Félix. Marco de Trabajo Integrado para el Modelado y la Medición de los Procesos Software. Tesis Doctoral. Departamento de Informática. Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real España. 2004.
- [77]. MORASCA, S. Software Measurement. In *Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering*. Vol 1: Fundamentals. pp. 239-276. 2001.
- [78]. PRESSMAN, R. *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico* (Quinta edición). McGraw-Hill. 2001.
- [79]. ALBRETCH, A. Measuring Application Development Productivity. *Proceedings of the IBM Application Development Symposium, Monterey*. 1979. pp. 83-92.
- [80]. McDERMID, J. *Software Engineering Reference Book*. Butterworth Heinemann. 1991.
- [81]. HETZEL, W. *Making Software Measurement Work*. QED Publishing Group. 1993.
- [82]. DOLADO, J. y FERNÁNDEZ, L. *Medición para la gestión en la Ingeniería del Software*. Madrid. Editorial RAMA. 2001.
- [83]. RUIZ, F., GARCÍA, F., MÁRQUEZ, L., PIATTINI, M. y POLO, M. Tool based on MOF for Software Process Metamodeling. *Proceedings of the Business Information Technology Management (BitWorld'2001)*. El Cairo Egipto. 2001.
- [84]. CHIDAMBER, S. y KEMERER, C. A Metrics Suite for Object Oriented Design. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1994. pp. 476-493.
- [85]. CALERO, C., PIATTINI, M. y GENERO, M. Method for obtaining correct metrics. *Proceedings of the 3rd International Conference on Enterprise and Information Systems*. 2001. pp. 779-784.
- [86]. LORENZ, M. y KIDD, J. *Object-Oriented Software Metrics: A Practical Guide*. Englewood Cliffs (Nueva Jersey). Prentice Hall. 1994.
- [87]. MARTÍNEZ, A. Métricas para asegurar la Mantenibilidad de Entornos de Cuarta Generación. Tesis Doctoral. Departamento de Informática, Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real España. 2001.
- [88]. RUIZ, F., GARCÍA, F., PIATTINI, M. y POLO, M. Environment for Managing Software Maintenance Projects. *Advances in Software Maintenance Management: Technologies and Solutions*. pp. 255-290. Estados Unidos. Idea Group Publishing. 2002.
- [89]. McGARRY, J., CARD, D., JONES, C., LAYMAN, B., CLARK, E., DEAN, J. y HALL, F. *Practical Software Measurement. Objective Information for Decision Makers*. Addison-Wesley. 2002.
- [90]. BASILI, V. y WEISS, D. A Methodology for Collecting Valid Software Engineering Data. *IEEE Transactions on Software Engineering*. pp. 728-738. 1984.
- [91]. ROMBACH, H. D. Design measurement: some lessons learned. *IEEE Software*., pp. 17-25. 1990.
- [92]. GOLDENSON, D., JARZOMBK, J. y ROUT, T. Measurement and Analysis in Capability Maturity Model Integration Models and Software Process Improvement. *The Journal of Defense Software Engineering (Software Engineering Technology)*. 2003. pp. 20-24.
- [93]. ISO/IEC. ISO 15939: Software Engineering - Software Measurement Process. 2002.
- [94]. HURTADO, Julio Ariel. "*El modelo integral de mejoramiento Agile SPI*". Departamento de Sistemas, Universidad del Cauca. Popayán, Agosto de 2004
- [95]. SANCHEZ, C. Johana. SOLIS, M. Elena. ARDILA, C. Alberto. *MLCMPDS: Modelo Liviano De Calidad Para La Mejora De Procesos De Desarrollo Software*. Universidad del Cauca. 2006.
- [96]. HURTADO, Julio Ariel. "*Agile SPI: Un enfoque ágil hacia la mejora de procesos de Software*". Resumen. Departamento de Sistemas, Universidad del Cauca. Popayán. 8 de Mayo de 2005.

- [97]. OBJECT MANAGMENT GROUP. "Software Process Engineering Metamodel Specification". Adopted Specification of the Object Management Group, Inc; Versión 1.0 formal/02-11-14. Noviembre 2.002.
- [98]. PINO Francisco J. GARCIA, Félix. RUIZ, Francisco. PIATTINI, Mario. *Adaptación de las normas ISO/IEC 12207:2002 e ISO/IEC 15504:2003 para la Evaluación de la Madurez de Procesos Software*. 2.005.
- [99]. GARCÍA F., BERTO A. M. F., CALERO C., VALLECILLO A., RUÍZ F., PIATTINI M., GENERO M., "Towards a consistent terminology for software measurement", Information and Software Technology. pp. 1-14. 2005.
- [100]. CALERO, C., PIATTINI, M. y GENERO, M. Method for obtaining correct metrics. Proceedings of the 3rd International Conference on Enterprise and Information Systems. 2001. pp. 779-784.
- [101]. CANTONE, G. y DONZELLI, P. Production and maintenance of software measurement models. Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. 2000. pp. 605-626.
- [102]. BASILI, V. y ROMBACH, H. The TAME project: towards improvement-oriented software environments. IEEE Transactions on Software Engineering. 1988. pp. 728-738.
- [103]. BASILI, V. y WEISS, D. A Methodology for Collecting Valid Software Engineering Data. IEEE Transactions on Software Engineering. 1984. pp. 728-738.
- [104]. VAN SOLINGEN, R. y BERGHOUT, E. The Goal/Question/Metric Method: A practical guide for quality improvement of software development. McGraw-Hill. 1999.
- [105]. BASILI, V., SHULL, F. y LANUBILE, F. Building knowledge through families of experiments. IEEE Transactions on Software Engineering. 1999. pp. 435-437.
- [106]. Ministerio de Administraciones Públicas. Gestión de Proyectos, Metodología METRICA Versión 3. Septiembre 2001. pp. 3-35.
- [107]. Project Management Institute en su "Guía de los Fundamentos de Gestión de Proyectos - Guía del PMBOK, Tercera Edición.
- [108]. Cómo Liderar un Proceso de Mejora en la Empresa Publicado originalmente en inglés por American Management Association en 1993, ISBN en lengua española: 84-88940-64-5 Traducción: Laura Garro.
- [109]. Software Engineering Institute (SEI - 2002). Capability Maturity Model Integration (CMMISM), version 1.1. Software Engineering Institute. Disponible al 10 de Abril de 2007 en: <http://www.sei.cmu.edu/cmmi>
- [110]. ALQUICIRA ESQUIVEL, Claudia, M. en C. Programa de mejora, una carrera por la mejora que no tiene meta. Disponible al 10 de Noviembre de 2006 en: http://www.avantare.com/articulos/novedades_articulodelmes.html.
- [111]. CHRISISS, M. KONRAD, M. SHRUM Sandy, CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Addison-Wesley, 1 Edition, Carnegie Mellon Software Engineering Institute, USA, 2003.
- [112]. MOEN, Ronald D. NOLAN, Thomas W. PROVOST, Lloyd P. Traducción libre del cap. 1 "Improvement of Quality" del libro Improving Quality Through Planned Experimentation. Ed. McGraw-Hill. Disponible al 22 de Diciembre de 2.006 en: <http://correo.udlap.mx/~jtambore/mej-cal/mej-cal.html>
- [113]. GOMEZ, Oswaldo. OKTABA, Hanna. PIATTINI, Mario. GARCIA, Félix. Incorporación de medidas en el modelo de procesos para la industria de software MoProSoft. Iv Simposio Internacional de Sistemas de información e Ingeniería de software en la Sociedad del conocimiento Sisoft2006, Volumen I. Cartagena de Indias, Colombia. Agosto de 2005.
- [114]. GOMEZ, Oswaldo. OKTABA, Hanna. PIATTINI, Mario. GARCIA, Félix. Calidad de Productos de Software: Un estado del arte de la medición. Iv Simposio Internacional de Sistemas de información e Ingeniería de software en la Sociedad del conocimiento Sisoft2006, Volumen I. Cartagena de Indias, Colombia. Agosto de 2005.

- [115]. The State of Software Measurement Practice: Results of 2006 Survey Software Engineering Institute (SEI - 2006). The State of Software Measurement Practice: Results of 2006 Survey. Disponible al 10 de Abril de 2007 en: <http://www.sei.cmu.edu/>
- [116]. JIMENEZ, Luis Miguel, Introducción al control estadístico de los procesos. Juran Institute España, S.A.2006.
- [117]. ZULTNER, Richard. Software Quality Engineering: The Deming Approach. Sixth Annual Southeastern Quality Conference.1998.