



Evaluación de dos sistemas de administración de bases de datos relacionales en memoria utilizando la configuración de pruebas TPC-C y ordenadores de placas reducidas

Trabajo Final de Graduación

para obtener el título de:

Máster en Tecnología de Bases de Datos

Estudiantes:

Douglas Murillo Arias

Bryan Quirós Santana

Director de la tesis: Luis Naranjo Zeledón

Junio, 2016

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	2
Índice de Figuras.....	6
Índice de tablas	15
Resumen Ejecutivo	16
Palabras clave.....	17
Introducción.....	18
Antecedentes	20
Planteamiento del problema.....	20
Justificación.....	22
Objetivos	24
Taxonomía.....	24
Objetivo General.....	24
Objetivos Específicos	25
Alcances y Limitaciones	26
Alcances	26
Limitaciones.....	27
Marco Institucional	29
Estado de la cuestión	30
Ordenadores de placas reducidas (OPRs).....	30
Bases de Datos en Memoria.....	32
Evaluación del rendimiento	34
Marco metodológico	36
Enfoque de la investigación	36
Alcances de la investigación	37

Enfoque de la investigación:	38
Técnicas del análisis de información:.....	39
Diseño de la investigación	40
Tipos de Evaluaciones.....	43
Propuesta de Evaluación.....	44
Características del Hardware	44
Nodos (4): Foxconn AT-5250	44
Equipo de Red	46
Equipos de Prueba.....	46
Características del software	49
Altibase	49
MySQL Cluster	55
Benchmark Factory for Databases	57
Escenarios de pruebas.....	61
Definición de variables.....	61
Variables independientes:	61
Variables dependientes:	61
Escenario 1. Un solo nodo	62
Diagrama topológico	62
Descripción del escenario y muestra de resultados.....	63
Resultados	64

Análisis.....	68
Escenario 2. Dos Nodos	70
Diagrama topológico	70
Descripción del escenario y muestra de resultados.....	71
Resultados	72
Análisis.....	76
Escenario 3. Dos Nodos con conexión aleatoria.....	78
Diagrama topológico	78
Descripción del escenario y muestra de resultados.....	79
Resultados	80
Análisis.....	83
Conclusiones y Recomendaciones.....	85
Conclusiones	85
Recomendaciones	86
Referencia.....	87
Glosario.....	90
Apéndices	93
1. Versiones y Parámetros de Instalación	93
Sistemas operativos	93
Nodos.....	93
Agente de evaluación.....	95

Bases de Datos	95
Instalación de Altibase	95
2. Configuración.....	96
Configuración estática de red en nodos	96
Configuración de Altibase	96
3. MySQL Cluster	101
Configuración estática de red en nodos	101
Instalación de MySQL cluster en los servidores o nodos.....	101
Permitir conexiones remotas al servidor	104
4. Resultados experimentales	105
Pruebas con conjunto de datos de tamaño 256MB	105
Pruebas con conjunto de datos de tamaño 512 MB	138

Índice de Figuras

Figura 1. Vista Frontal y Trasera de los Nodos	44
Figura 2. Vista interna (sin memoria principal y disco duro)	44
Figura 3. Vista frontal del enrutador	46
Figura 4. Vista frontal de la computadora 1 de pruebas	47
Figura 5 Vista frontal de la computadora 2 de pruebas	48
Figura 6. Diagrama de referencia de objetivos para una base de datos híbrida	50
Figura 7. Estructura de una Tabla particionada utilizando replicación	51
Figura 8. Proceso de Tolerancia a Fallos	53
Figura 9 Arquitectura de MySQL Cluster (tomada de Mysql datasheet)	55
Figura 10 Creación de nuevo trabajo (Captura del programa Benchmark Factory) ..	59
Figura 11 Nuevo trabajo (captura de Benchmark Factory)	60
Figura 12. Diagrama Topológico: Solo 1 nodo, sin tolerancia a fallos	62
Figura 13. Promedio de Transacciones por Segundo en prueba de Alta densidad (grupo 1) para dataset 512MB	64
Figura 14. Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración de Alta densidad (grupo 2) y dataset de 512MB	64
Figura 15. T Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración de baja densidad y dataset de 256MB	65
Figura 16. Gráfico integrado de indicadores de desempeño en escenario de alta densidad (grupo 2) para dataset de 512 MB	66

Figura 17. Gráfico integrado de indicadores de desempeño en escenario de baja densidad para dataset de 256 MB	67
Figura 18. Diagrama Topológico: Dos nodos con tolerancia a fallos	70
Figura 19 Promedio de Transacciones por Segundo en prueba de Alta densidad (Grupo 1) con dataset de 256MB	72
Figura 20 Promedio de Transacciones por Segundo en prueba de Baja densidad con dataset de 512MB.....	72
Figura 21. Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración de baja densidad con dataset de 256MB.....	73
Figura 22 Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración en Alta densidad (Grupo 2) con dataset de 512MB	73
Figura 23. Gráfico integrado de indicadores de desempeño en escenario de alta densidad (grupo 2) con dataset de 256MB	74
Figura 24 Gráfico integrado de indicadores de desempeño en escenario de baja densidad con dataset de 512MB.....	75
Figura 25. Diagrama Topológico: Dos nodos con tolerancia a fallos y aleatoriedad en la conexión	78
Figura 26 Promedio de Transacciones por Segundo en prueba de Alta densidad (Grupo 1) con dataset de 256MB	80
Figura 27. Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración de baja densidad con dataset de 256MB.....	81
Figura 28. Gráfico integrado de indicadores de desempeño en escenario de alta densidad (grupo 2) con dataset de 256MB	82

Figura 29 Promedio de Transacciones por Segundo para escenario 1, variación 1 y prueba 1	105
Figura 30 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para escenario 1, variación 1 y prueba 1	106
Figura 31 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para escenario 1, variación 1 y prueba 1.....	107
Figura 32 Promedio de Transacciones por Segundo para escenario 1, variación 1 y prueba 2	108
Figura 33 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para escenario 1, variación 1 y prueba 2	108
Figura 34 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para escenario 1, variación 1 y prueba 2.....	109
Figura 35 Promedio de Transacciones por Segundo para escenario 1, variación 1 y prueba 3	110
Figura 36 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para escenario 1, variación 1 y prueba 3	110
Figura 37 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para escenario 1, variación 1 y prueba 3.....	111
Figura 38 Promedio de Transacciones por Segundo para escenario 1, variación 2 y prueba 1	112
Figura 39.Tiempos de respuesta máximos y mínimos para escenario 1, variación 2 y prueba 1	113
Figura 40 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para escenario 1, variación 2 y prueba 1.....	114

Figura 41 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 2	115
Figura 42 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 2	115
Figura 43 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 2 y prueba 2.....	116
Figura 44 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 3	117
Figura 45 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 3	117
Figura 46 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 2 y prueba 3.....	118
Figura 47 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 1	119
Figura 48 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 1	119
Figura 49 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 3 y prueba 1.....	120
Figura 50 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 2	121
Figura 51 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 2	121
Figura 52 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 3 y prueba 2.....	122

Figura 53 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 3	123
Figura 54 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 3	123
Figura 55 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 3 y prueba 3.....	124
Figura 56 . Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 1 y prueba 1	125
Figura 57 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 1 y prueba 1	125
Figura 58 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 1 y prueba 1	126
Figura 59 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 1 y prueba 2	127
Figura 60 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 1 y prueba 2	127
Figura 61 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 1 y prueba 2.....	128
Figura 62 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 1 y prueba 3	129
Figura 63 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 1 y prueba 3	129
Figura 64 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 1 y prueba 3.....	130

Figura 65 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 2 y prueba 1	131
Figura 66 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 2 y prueba 1	132
Figura 67 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 2 y prueba 1.....	132
Figura 68 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 2 y prueba 2	134
Figura 69 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 2 y prueba 2	134
Figura 70 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 2 y prueba 2.....	135
Figura 71 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 2 y prueba 3	136
Figura 72 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 2 y prueba 3	136
Figura 73. Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 2 y prueba 3.....	137
Figura 74. Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 1 y prueba 1	138
Figura 75. Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 1 y prueba 1	139
Figura 76. Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 1.....	140

Figura 77 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 1 y prueba 2	141
Figura 78 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 1 y prueba 2	142
Figura 79 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 1 y prueba 2.....	143
Figura 80 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 1 y prueba 3	144
Figura 81 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 1 y prueba 3	145
Figura 82 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 3.....	146
Figura 83 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 1	147
Figura 84 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 1	148
Figura 85 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 1.....	149
Figura 86 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 2	150
Figura 87 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 2	151
Figura 88 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 2.....	152

Figura 89 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 3	153
Figura 90 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 3	154
Figura 91 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 3.....	155
Figura 92 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 1	156
Figura 93 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 1	157
Figura 94 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 3 y prueba 1.....	158
Figura 95 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 2	159
Figura 96 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 2	160
Figura 97 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 3 y prueba 2.....	161
Figura 98 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 3	162
Figura 99 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 3	163
Figura 100 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 3 y prueba 3.....	164

Figura 101 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2, variación 1 y prueba 1	165
Figura 102 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2, variación 1 y prueba 1.....	166
Figura 103 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2, variación 1 y prueba 1.....	167
Figura 104 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2, variación 1 y prueba 2	168
Figura 105 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2, variación 1 y prueba 2.....	169
Figura 106 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2, variación 1 y prueba 2.....	170
Figura 107 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2, variación 1 y prueba 3	171
Figura 108 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2, variación 1 y prueba 3.....	172
Figura 109 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2, variación 1 y prueba 3.....	173

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de pruebas del escenario 1	63
Tabla 2 Resumen de pruebas del escenario 2	71
Tabla 3 Resumen de pruebas del escenario 3	79

Resumen Ejecutivo

El creciente consumo y dependencia de datos impulsa un cambio continuo y creciente en capacidad, desempeño y retorno de la inversión para los productos y aplicaciones de tecnologías de información. Tradicionalmente, el componente de software clave para las soluciones de sistemas de información para procesar datos han sido las bases de datos. Desde la perspectiva física, en el hardware de los sistemas destaca un componente intrínsecamente relacionado con el desempeño del sistema electrónico, junto al procesador: la memoria principal.

Este trabajo pretende generar información sobre el desempeño de dos sistemas de administración de bases de datos relacionales en memoria (SABDRM) mediante la implementación de escenarios de prueba en ordenadores de placas reducidas y utilizando herramientas de software basadas en el estándar TPC-C.

La implementación propuesta se contrapone a las soluciones tradicionales que utilizan componentes de gama empresarial y sistemas de administración de bases de datos propietarios y busca, por el contrario, proveer de información sobre el desempeño de una configuración opuesta a la tradicional línea empresarial de alto costo y complejidad, un escenario poco explorado. Este trabajo analiza los resultados obtenidos en distintos escenarios de prueba, contrastando ambos SABDRM.

Los resultados muestran como el desempeño, para este tipo de implementaciones y medido en Transacciones por Segundo (TPS), es proporcional a la cantidad de usuarios. Adicionalmente, muestra el nivel de impacto al utilizar una configuración redundante orientada a la tolerancia de fallos.

En promedio, los indicadores de desempeño favorecen, ligeramente, a las pruebas realizadas sobre MySQL, en comparación con Altibase.

Integrando toda la información y resultados, se pretende definir una base de referencia evaluativa para la eventual implementación de este tipo de configuraciones en soluciones orientadas a ambientes con demandas de hasta 100 usuarios y utilizando tolerancia a fallos.

Palabras clave

Bases de datos relacionales en memoria, Altibase, MySQL, ordenadores de placa reducida, desempeño, tolerancia a fallos, TPC, TPC-C, benchmark, soluciones de almacenamiento de datos de baja gama, sistemas de administración de bases de datos en memoria (SABDRM).

Introducción

Los acercamientos a las evaluaciones de Sistemas de Administración de Bases de Datos son tan diversos como los objetivos que buscan satisfacer. Factores como la configuración, el uso, la infraestructura, el medio de almacenamiento y el entorno operativo son algunas de las variables que pueden tomarse en cuenta y arrojar distintos resultados, según el enfoque.

La evaluación del desempeño de soluciones de bases de datos es un aspecto crítico para determinar su compatibilidad con las capacidades presupuestarias, requerimientos de servicio, crecimiento futuro y cantidad de usuarios que compañías, especialmente las emergentes (startups), micro y pequeñas empresas necesitan.

Este proyecto pretende brindar una perspectiva evaluativa del desempeño en la implementación de tres soluciones combinadas y actualmente en boga: Sistema de Administración de Bases de Datos en Memoria, equipo doméstico de baja gama y una configuración distribuida.

Para esto se ha considerado infraestructura de muy bajo costo, soluciones de bases de datos en memoria comunitarias o de código abierto, redundancia y equipo asociado básico.

La evaluación difiere de las investigaciones comunes, realizadas sobre escenarios de prueba limitados a consultas o actualizaciones predefinidas y controladas (Ş Gündüz Ögüdücü, 2013). Por otro lado, los escenarios de evaluación se rigen por protocolos de pruebas que involucran múltiples usuarios, simulando un ambiente transaccional típico, siguiendo los lineamientos estándar de una solución de evaluación de desempeño para bases de datos.

Los primeros capítulos justifican los usos potenciales de los resultados, los objetivos, alcances y limitaciones que definen el contexto del proyecto.

A continuación, se explica la metodología de evaluación utilizada, basada en el estándar TPC-C, definido por la TPC, una organización sin fines de lucro que busca estandarizar las pruebas de desempeño de bases de datos transaccionales (TPC, 2016)

Posteriormente, se recopilan y analizan los resultados, para, finalmente, presentar las conclusiones y recomendaciones de la evaluación.

El destino de esta investigación, es sentar la base para desarrollar los procedimientos, aspectos importantes a seguir y brindar conocimiento útil para facilitar la toma de decisiones de infraestructura relacionadas con implementaciones no tradicionales de bases de datos en memoria. La metodología de evaluación busca ajustarse lo más posible a un escenario típico de uso transaccional y no pretende evaluar superlativos técnicos (máximos o mínimos en las especificaciones técnicas de los fabricantes)

Antecedentes

Existe una referencia de un único trabajo similar al propuesto en este documento y es del Instituto de computación e ingeniería de Estambul (Ş Gündüz Ögüdücü, 2013), quienes a su vez mencionan que el trabajo de ellos es el primero en su tipo. Con el nombre “A Study for performance comparison of different in-memory databases”, los autores buscan comparar el rendimiento de los motores de bases de datos Timesten de Oracle, Altibase, solidDb y SQLite en ambientes Linux y Windows.

En ese trabajo se buscó analizar y evaluar estos motores en configuraciones de hardware bastante potentes y las pruebas tomaron en cuenta los tiempos de acceso a sentencias de SQL que manejaban diferentes tamaños de grupos de datos.

Para sus pruebas, el grupo de investigadores de la universidad de Estambul, utilizo un único servidor, con un procesador Intel Xeon de 4 núcleos (E7-4820), con 240GB de RAM y 300GB de disco duro, además de correr sus evaluaciones en Windows Server 2008 R2 y Linux Server Gnome 2.28.2 de 64 bits.

Es necesario destacar que los escenarios en los que se enfoca la investigación son a partir de una combinación particular de software y hardware, con versiones más simples y económicamente limitadas, contrario a configuraciones populares de sistemas empresariales o soluciones difundidas comercialmente.

Planteamiento del problema

Los Sistemas de Administración de Bases de Datos Relacionales en Memoria (SABDRM) poseen características inherentes a la tecnología para minimizar la latencia

al responder transacciones respecto al almacenamiento tradicional (en disco). Sin embargo, presentan una desventaja inherente a la memoria principal, la volatilidad. Los datos almacenados en memoria dependen de energía y, por ende, refrescamiento continuo. Sin niveles de energía suficientes los datos se pierden y se corrompen.

Como alternativa de solución a este problema, los SABDRM proveen de opciones de tolerancia a fallos como conexiones redundantes y duplicidad de datos. Popularmente, este concepto se ha asociado empresarialmente a configuraciones de múltiples servidores y tecnologías de alto costo de inversión inicial y mantenimiento.

El proyecto pretende evaluar una solución que implemente SABDRM en sistemas de baja gama (ordenadores de placas reducidas de bajo desempeño, costo y complejidad), en diversos escenarios de prueba, incluyendo, tolerancia ante fallos.

Tanto los resultados como las experiencias derivadas de la evaluación serán recopilados y analizados como parte del proyecto (ver Propuesta de Solución y Apéndice 4).

Justificación

Constantemente, las compañías desarrolladoras de software y hardware lanzan nuevos productos para diferentes segmentos de mercado. La expectativa es grande y siempre orientada a una necesidad creciente de capacidad y velocidad, a costa de un Retorno de la Inversión (ROI, por sus siglas en inglés) justo que cubra la investigación y desarrollo implícito en la innovación.

Un aspecto crítico que enfrentan quienes toman las decisiones sobre el equipo y software que deben adquirir es su desempeño. Sin embargo, las evaluaciones de desempeño de infraestructura y software, se enfocan más en ambientes no productivos. En ambientes de enfoque productivo, lideran los casos de estudio y las evaluaciones realizadas por los mismos desarrolladores, en ambientes controlados y con acceso limitado a los resultados.

La relación de desempeño entre hardware y software es directamente proporcional. Es así, que un software que no pueda explotar la capacidad que le brinda el hardware se limita tanto como la infraestructura que limita el desempeño de un programa de software.

Surge como objetivo importante en este trabajo, generar información sobre el desempeño de sistemas de administración de bases de datos en memoria utilizando equipo de baja gama (placas reducidas). Busca minimizar la carencia de información de un tema poco explorado por desarrolladores e investigadores, pero muy útil para implementaciones con bajo presupuesto que buscan sacar el mayor provecho de su ROI.

La investigación une dos conceptos novedosos: Sistemas de bases de datos en memoria, que a diferencia de las implementaciones tradicionales cambian el almacenamiento en disco por memoria principal y la utilización de ordenadores (nodos) de baja gama para brindar distribución y tolerancia a fallos.

La investigación tiene como fin contribuir con información útil para la toma de decisiones, utilizando una metodología reconocida como estándar para evaluar los diferentes escenarios de prueba y permitir juzgar el desempeño de implementaciones de bajo costo.

El enfoque es evaluativo, orientado a proveer información de referencia en la evaluación de sistemas de administración de bases de datos en memoria (SABDRM).

Objetivos

La taxonomía y los objetivos del proyecto de evaluación se detallan a continuación:

Taxonomía

Para la definición de objetivos se utilizó la taxonomía de Bloom Revisada (Krathwohl, 2002) por ser una versión más moderna y con cambios para la aplicación de un modelo cognitivo en Tecnologías de Información.

Objetivo General

Evaluar el desempeño y características de operaciones transaccionales dentro de bases de datos en memoria, utilizando ambientes multi – nodales tolerantes a fallos en ordenadores de placas reducidas.

Objetivos Específicos

1. Identificar los sistemas de administración de bases de datos relacionales en memoria (SABDRM), compatibles con el ambiente de evaluación.
2. Asociar las características y capacidades de los SABDRM con las configuraciones del hardware para los diferentes escenarios de prueba.
3. Aplicar planes de evaluación del desempeño entre los SABDRM.
4. Integrar los resultados obtenidos en las evaluaciones.
5. Determinar la mejor configuración de acuerdo al rendimiento y/o tolerancia de fallos en función de los datos obtenidos.

Alcances y Limitaciones

El proyecto se encuentra definido por los siguientes alcances y limitaciones:

Alcances

- Se utilizará un equipo de bajo costo, accesible en el mercado y utilizando tecnología estándar
- Todos los componentes de software son gratuitos o accesibles en periodo de prueba sin ningún costo
- Las pruebas se realizarán siguiendo el conjunto de pruebas C del TPC (TPC-C), cuya descripción y detalles es comúnmente reconocido y accesible por desarrolladores y usuarios.
- Los nodos que constituyen el área de ejecución de los SABDRM de prueba es física y lógicamente independiente de los equipos utilizados para ejecutar la herramienta de evaluación del desempeño de las SABDRM, con el objetivo de prevenir cualquier influencia sobre el desempeño.
- El equipo de prueba posee mayor capacidad de procesamiento y memoria para satisfacer las demandas de virtualización de usuarios, comunicación y ejecución de comandos.
- Este documento escrito será entregado a la Universidad Cenfotec donde podrá ser consultado como referencia para futuras investigaciones sobre SABDRM.

Limitaciones

- Se limitarán las pruebas a un máximo de 2 nodos físicos, en diversas configuraciones.
- La cantidad de SABDRM está limitada a 2 implementaciones distintas e independientes.
- Los componentes de software y configuraciones no estarán sujetas a escenarios validados o recomendados por los desarrolladores o terceros.
- La cantidad de configuraciones de prueba son definidas exclusivamente por los autores según su criterio de mejores prácticas y posibles escenarios.
- Solo se utilizará una versión de cada SABDRM, controladores, sistemas operativos, componente de comunicación remoto y software de evaluación de desempeño para todas las pruebas.
- Las pruebas se realizarán limitando el conjunto de datos hasta la capacidad máxima de memoria principal única que ofrecen el módulo instalado y la configuración de prueba. Considerándose como espacio libre lo que el sistema operativo indique luego de: Ejecutar satisfactoriamente la sesión del usuario en el sistema operativo, la aplicación de comunicación remota y la instalación y ejecución del SABDRM
- Las modificaciones realizadas a la sintaxis de SQL de las pruebas solo afectarán los códigos de creación de tablas e índices para garantizar compatibilidad.
- Las pruebas se limitarán exclusivamente a la implementación del estándar de medición del desempeño definido y desarrollado por terceros. La precisión de los resultados está sujeta unilateralmente al programa, el sistema operativo y

cualquier limitación de licencias impuestas por estos, además, de la configuración de los equipos y el hardware.

- Los parámetros definidos para medir el desempeño se limitan a:
 - Tiempos de ejecución.
 - Tiempos de respuesta.
 - Cantidad de bytes transmitidos totales.
 - Cantidad de bytes transmitidos por unidad de tiempo.
 - Detección y conteo de errores.
 - Cantidad de filas.
 - Cantidad de usuarios virtuales.
 - Cantidad de transacciones por unidad de tiempo.

Marco Institucional

Este proyecto es desarrollado y financiado por los ingenieros Douglas Murillo Arias y Bryan Quirós Santana como Trabajo Final de Graduación (TFG). El TFG se encuentra descrito como requisito para optar por el grado académico de Maestría en Tecnologías de Bases de Datos impartido por la Universidad CENFOTEC en Costa Rica.

Otras leyes de la República de Costa Rica, normativas instituciones que regulan la educación superior y organismos a los que se encuentre asociados la Universidad aplican.

Estado de la cuestión

Ordenadores de placas reducidas (OPRs)

Los ordenadores de placas reducidas (OPRs) son computadoras completas construidas en una sola placa de circuitos, con procesador, memoria y otras características que requieren los sistemas para funcionar como un computador. Se diferencian de un ordenador común en que sus placas no cuentan con puertos de expansión. (Burckle, 2011)

El término de OPR se utiliza desde mediados de la década de los 70s, el primer OPR apareció a principios de 1975, el DEC LSI-11 fue uno de los primeros modelos que impulso el desarrollo de equipos a un bajo costo con el fin de monitorear procesos físicos (Doerr, 1978). Desde entonces su desarrollo ha venido avanzando, enfocado en aplicaciones específicas y un amplio rango de soluciones comerciales, desde el hogar hasta empresariales. (Rosch, 1999)

Las OPR se pueden categorizar por el hecho de si están conectadas a través de un backplane o están acomodadas una encima de la otra. El consorcio internacional PICMG (PCI Industrial Computer Manufacturers Group) es quien regula los estándares de las conexiones de los backplane, algunos de ellos son los estándares PCI, PCI-X, PCI-ISA PCI-Express (PICMG, 2016).

La especificación PC/104, del consorcio internacional del mismo nombre, es la que se utiliza para describir el otro tipo de OPR y es comúnmente encontrarlos en ambientes especiales donde el equipo deba ser pequeño, este estándar es modular y

permite que los módulos se coloquen uno encima de otro y de esta manera producir sistemas embebidos. (PC/104 Consortium, 2016)

Los diseños y aplicaciones de las OPRs varían según su objetivo. Desde simples sistemas que se utilizan como controladores hasta sistemas especializados que funcionan en conjuntos y configuraciones que permiten ahorrar espacio.

A pesar de su gran utilidad, la industria ha limitado el desarrollo de los OPRs como soluciones empresariales exceptuando el campo de productos embebidos. Las últimas publicaciones sobre clústeres de OPRs se limitan a soluciones con procesadores basados en la arquitectura RISC (en español, Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas), siendo más una exploración hacia los posibles resultados de utilizar nuevas tecnologías y no el tradicional CISC (en español, Computador con Conjunto de Instrucciones Complejas) del cual se derivan la mayor parte de soluciones de software empresarial. (Kiepert, 2013)

Si bien es cierto, podría implementarse un emulador de CISC en un sistema construido con procesadores RISC, el cambio en arquitectura y emulación, sin mencionar los posibles fallos por incompatibilidad crearían una brecha comparativa que resultaría impráctica de analizar.

Los últimos avances en OPRs auguran un nuevo impulso por parte del mayor fabricante de procesadores de la arquitectura CISC, Intel. Con la presentación de la línea de OPRs Next Unit Computing (en español, Próxima Unidad de Computación) la compañía espera sobrepasar a las soluciones ARM (RISC) presentes en el mercado (Altavilla, 2014).

Si bien es cierto, las OPR son capaces de duplicar en cierta medida el funcionamiento de las computadoras tradicionales, las mismas no pueden alcanzar las

velocidades de procesamiento esto debido a que el enfoque principal de su diseño lo conforman la potencia y la disipación de calor.

Bases de Datos en Memoria

Una base de datos en memoria (BDM) es un sistema de gestión de base de datos que se basa principalmente en la memoria principal para el almacenamiento de datos informáticos. Se pone en contraste con los sistemas de gestión de base de datos que emplean un mecanismo de almacenamiento en disco. Estos sistemas por lo general son más rápidos que las bases de datos de disco ya que los algoritmos de optimización internos son más simples y menos costosos al ejecutar instrucciones de la CPU al momento de realizar consultas y hacer escrituras a las tablas. El acceso a los datos en la memoria disminuye el tiempo de búsqueda cuando se consultan los datos, lo que proporciona un mejor rendimiento comparado con tecnologías de acceso al disco. (Vizard, 2012)

En aplicaciones donde el tiempo de respuesta es crítico, tales como equipos de redes de telecomunicaciones y redes de publicidad móvil, a menudo se usan las bases de datos de la memoria principal. Las BDM han ganado mucha popularidad, especialmente en el espacio de análisis de datos, a partir de mediados de la década de 2000, debido principalmente a la disminución de costos. (Khan, 2012)

Otros de los usos más interesantes de las BDM son las aplicaciones para Big Data, por ejemplo, el servicio postal de Estados Unidos las utiliza para manejar 4 billones de escaneos de correos por día. También se utiliza en los sistemas de

transacciones de acciones de las bolsas de valores y en instituciones de manejo de riesgos financieros.

Algunas de las BDM disponible en el mercado son las siguientes

- Aerospike
- Altibase
- Clusterpoint
- CSQL
- DataBlitz
- eXtremeDB
- FastDB
- Hekaton
- H-Store
- HyPer
- HyperSQL
- kdb+
- MDB
- MemSQL
- MySQL (Galera)
- Polyhedra
- RavenDB
- redis
- SAP HANA
- solidDB
- SQLite
- Starcounter
- TimesTen
- VoltDB

El que estas bases de datos existan en la memoria RAM no es la única característica que hace que su rendimiento sea superior a las bases de datos relacionales en disco, anteriormente se mencionó que existen ciertos algoritmos de optimización que ayudan a que se hagan instrucciones de CPU más eficientes.

- Acceso a la memoria: La mayoría de las BDM tienen acceso directo a los objetos en memoria y además utilizan acceso memoria compartida implementado en JAVA, C, C++ o .NET. La reducción de la latencia pasa de milisegundos a microsegundos en las BDM.
- Estructura de índices: A diferencia de sus contrapartes en disco, las BDM utilizan algoritmos especializados para el manejo de índices, como por ejemplo

los T-Tree, T-Tree rebalancing, Skip List, Trie, Patricia Trie o árbol de raíces.

(Lehman & Carey, 1986)

- Control de concurrencia: Algunas de las BDM utilizan control de concurrencia ya sea del tipo optimista (donde se asume que no hay conflicto) o de control de versiones múltiples.

Evaluación del rendimiento

Existen diferentes tipos de maneras de evaluar el rendimiento o benchmark de las BDM. Algunas de las más comunes se mencionan a continuación:

- Benchmark de lectura y escritura sencilla: Como su nombre lo indica, la idea es realizar escrituras y lecturas a diferentes tablas utilizando las instrucciones de SELECT e INSERT de manera nativa a la BDM, es común que se use la cantidad de hilos que se ejecutan como una variable para medir el rendimiento.
- Benchmark de Wisconsin: En esta evaluación se utiliza 3 tablas y 32 sentencias definidas para insertar, actualizar, seleccionar y borrar elementos de las BDM. Aunque inicialmente no fue pensado para las bases de datos en memoria, nuevas actualizaciones al benchmark permiten que sea una opción ahora para la evaluación. (DeWitt, 2016)
- TPTBM: Son las siglas para TimesTen Performance Throughput Benchmark, es un software propietario de ORACLE que se incluye en las distribuciones de la BDM TimesTen (Lahiri, Neimat, & Folkman, 2013).
- TATP: Son las siglas para Telecom Application Transaction Processing Benchmark, es un software libre que simula el rendimiento de una base de datos

cuando se enfrenta a miles de llamadas simultaneas, consta de 4 tablas y donde normalmente se hace 7 tipos de transacciones. (Neuvonen, Wolski, Manner, & Raatikka, 2016)

- TPCC: Diseñado por el Transaction Processing Performance Council, simula la ejecución de un grupo de transacciones tanto interactivas como diferidas en un sistema de compras. Esta carga de trabajo es normal en ambientes de trabajo donde se usan OLTP (On-line Transaction Processing) y es posible realizar tanto consultas como procesos de rollback; estas características hacen que el benchmark sea el estándar más usado en la industria. (Llanos & Palop, 2006)
- STAC M3: Diseñado por Securities Technology Analysis Center, es una prueba que busca evaluar el rendimiento de soluciones de manejo series de tiempo, las cuales utilizan datos históricos y de tiempo real para llevar a cabo operación definidas que resultan en series de tiempo. Estas operaciones consumen mucho tiempo de análisis y su duración se puede extender de algunos minutos a horas dependiendo de la cantidad de datos. (Securities Technology Analysis Center LLC, 2016)

Marco metodológico

Enfoque de la investigación

Dada la naturaleza empírica de la investigación propuesta y de acuerdo a Dobles, Zúñiga y García (Dobles, 1998) en donde se asume que la fuente del conocimiento proviene de este tipo de naturaleza, se puede afirmar que esta investigación tiene carácter positivista y evaluativo.

El objeto de este tipo de investigación es valorar los resultados de un programa en razón de los objetivos propuestos para el mismo, con el fin de tomar decisiones sobre su proyección y programación para un futuro.

La evaluación es aplicada teniendo en cuenta los métodos de la investigación social, que a su vez son válidos para los diferentes tipos de investigación ya que su fundamento es el método científico; así que al planear una evaluación hay que elaborar un diseño que nos indica el objeto a evaluar, su valoración y análisis de la información. Lo que distingue la investigación evaluativa de otros procesos investigativos no es el método ni materia de estudio, sino su intencionalidad, es decir, el objetivo con el cual se lleva a cabo.

Este es uno de los aspectos importantes de esta investigación, en donde se busca analizar el rendimiento de diferentes tipos de bases de datos en situaciones específicas, de manera que al final de la investigación se pueda dar una recomendación objetiva acerca de cuál de ellas es la más adecuada para cada una de las circunstancias evaluadas.

En su trabajo con el deporte, Heinemann establece 10 tipos de preguntas para las investigaciones y afirma que las preguntas evaluativas son las que buscan de alguna manera servir como una medición cualitativa del adecuado diseño de la investigación en tanto que inquietan sobre sus pasos, su rumbo y sus procesos. Al investigador le permiten valorar sus alcances y avances, en tanto que le brindan retroalimentación. (Heinemann, 2003)

Estas ideas en base al trabajo de Heinemann para las preguntas de una investigación pueden también ser aplicadas al momento de definir el tipo de investigación.

Alcances de la investigación:

Se plantea que el alcance de esta investigación sea el de un estudio explicativo, debido a que este tipo va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales, se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas.

En esta clasificación podemos agrupar aquellas tesis cuyo objetivo de estudio es analizar un fenómeno particular con la finalidad de explicarlo en el ambiente donde se presenta, interpretarlo y dar a conocer el reporte correspondiente.

Las investigaciones explicativas son más estructuradas que las demás clases de estudios y de hecho implican los propósitos de ellas (exploración, descripción y correlación), además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a

que hacen referencia. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

Enfoque de la investigación:

La investigación cuantitativa es de carácter objetivo, pues se dedica a recolectar, procesar y analizar datos de diversos elementos que se pueden contar, cuantificar y medir a partir de una muestra o población en estudio (Razo, 1998)

Mediante la recolección de datos, se busca estudiar la relación entre las variables, previamente determinadas en una hipótesis, con las que trata de formular explicaciones para descubrir la asociación o correlación entre esas variables y una realidad específica, a través de las mediciones numéricas y/o del análisis estadístico.

Esto permite la generalización y objetividad de los resultados, con un determinado nivel de error y de confianza.

Entre las principales características de este enfoque se encuentran:

- Los métodos de estudio son precisos, acotados y de riguroso seguimiento.
- La definición de sus variables es exacta y bien delimitada.
- El seguimiento del método de investigación es direccional hacia el objetivo de la investigación.
- Sus conocimientos están fundamentados en teorías expuestas en bibliografía, y se tratan de comprobar de manera cuantitativa.

El uso del estándar TPC-C para medir el rendimiento de las bases de datos permite que él mismo pueda darse en variables específicas, como lo son los tiempos

de respuesta, cantidad de bytes transmitidos, cantidad de transacciones por unidad de tiempo entre otros.

Técnicas del análisis de información:

Anteriormente se definió el enfoque de este trabajo como investigación cuantitativa, es decir, se estudia la asociación o relación entre las variables que han sido cuantificadas, lo que ayuda aún más en la interpretación de los resultados.

Este tipo de investigación trata de determinar la fuerza de asociación o relación entre variables, así como la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra. De aquí se puede hacer inferencia a una población de la cual esa muestra procede. Más allá del estudio de la asociación o la relación pretende, también, hacer inferencia que explique por qué las cosas suceden o no de una forma determinada.

Los métodos cuantitativos de investigación más utilizados son los diseños experimentales y cuasi experimentales, la investigación por encuesta, los cuestionarios estandarizados, los registros estructurados de observación, las técnicas estadísticas de análisis de datos, entre otros.

La naturaleza de este trabajo permite el uso de los diseños experimentales, donde se aplican experimentos puros, entendiendo por tales los que reúnen tres requisitos fundamentales: la manipulación de una o más variables independientes; medir el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente y la validación interna de la situación experimental.

Estos experimentos son los que se refirieren a continuación como escenarios de prueba y han sido diseñados de tal manera que las variables independientes son las entradas de las bases de datos, tales como el tamaño de la base, el motor de la base, la cantidad de memoria. Como variables dependientes se han definido los parámetros de rendimiento del estándar TPC-C.

Durante la realización de los experimentos se busca cumplir lo siguiente:

- La evaluación de múltiples escenarios de prueba: Estos permitirán recopilar gran cantidad de datos que posteriormente serán agregados y presentados para respaldar las conclusiones de la evaluación.
- Generación de datos a partir de funciones aleatorias: Lo que permite una mayor objetividad en las pruebas y resultados, los datos aleatorios facilitan el análisis de un conjunto de datos que no siguen un patrón y puedan verse afectados por algoritmos de detección de tendencias.
- La evaluación propuesta se basa en datos cuantitativos lo que permite respaldar las conclusiones con gráficos y cuadros comparativos. La utilización de sistemas de computación y la carencia de otros estudios similares generan la necesidad de establecer medidas que sirvan de referencia a futuras investigaciones dentro de la misma configuración.

Diseño de la investigación

El diseño de la investigación corresponde a un enfoque evaluativo, que comprende: la determinación de las unidades de observación, las unidades de análisis, los instrumentos de recolección de información, definición del tipo de evaluación, el

diseño, el procesamiento e interpretación de la información (Correa Uribe, Puerta Zapata, & Restrepo Gómez, 1996).

Unidades de Observación

Las unidades de observación que se utilizarán en este proyecto se dividen en 8 indicadores cuantitativos:

- Tamaño de la base de datos en Megabytes (MB).
- Cantidad de usuarios simulados.
- Cantidad de transacciones por segundo ejecutadas satisfactoriamente (TPS) y promedio.
- Promedio de tasa de transferencia de bytes por segundo (BPS).
- Promedio de errores por ejecución de prueba.
- Tiempos máximos y mínimos de respuesta (en segundos).
- Promedio de filas transferidas satisfactoriamente.
- Promedio de bytes transferidos satisfactoriamente.

Unidades de análisis

El proyecto presenta 2 unidades de análisis, correspondientes a dos conjuntos de datos distintos, generados aleatoria y automáticamente por el programa de evaluación, que simulan una base de datos que cumple con el estándar para las pruebas aplicadas durante la evaluación TPC-C.

Instrumentos de recolección de información

El programa Benchmark Factory for Databases no solo genera y ejecuta el ambiente de prueba según las especificaciones del usuario sino que recopila y genera los reportes de resultados. A partir de la información recopilada se agregan los resultados según los indicadores.

Tipo de evaluación

La evaluación utilizada en este proyecto es sumativa.

Diseño de evaluación

El diseño de la evaluación aplicada en este proyecto es experimental cuantitativa.

Plan de análisis

El ambiente de prueba se construirá a partir de la configuración del hardware en un ambiente multimodal (ver Apéndices 1 y 2). Mediante un enlace de red utilizando el protocolo Ethernet y un cable físico UTP Cat 5e se establecerá la comunicación entre los nodos y el equipo que generará las pruebas y los usuarios virtuales.

Las pruebas se realizarán sobre dos grupos de datos aleatorios, generados por el sistema que ejecuta las evaluaciones y siguiendo el estándar TPC-C, cuyo tamaño será de 256MB y 512MB.

Las pruebas que se ejecutarán con diferentes conjuntos de usuarios, en grupos con orden creciente en cantidad. Se incluirán pruebas de tolerancia a fallos con desconexiones aleatorias durante cualquier etapa de la prueba.

Finalmente, la recolección de datos se hará únicamente de los resultados provistos por el sistema de pruebas.

Tipos de Evaluaciones

1. Desempeño comparativo en diferente configuración nodal
2. Comparación entre configuraciones ante la pérdida de uno o más nodos
3. Comparación entre configuraciones ante el fallo y posterior restablecimiento de uno o más nodos
4. Evaluación de sistemas aislados o en configuración tolerante a fallos
5. Comparación entre los nodos individualmente
6. Cantidad de usuarios y tamaño del conjunto de datos de prueba.

Propuesta de Evaluación

En esta sección se muestran las características del de hardware y del software que se utilizó en las pruebas de rendimiento.

Características del Hardware

Nodos (4): Foxconn AT-5250



Figura 1. Vista Frontal y Trasera de los Nodos



Figura 2. Vista interna (sin memoria principal y disco duro)

Especificaciones técnicas relevantes:

<i>Dimensiones</i>	190(L) x 135(A) x 38(E)mm
<i>Procesador</i>	Intel Dual Core Atom D2550 1.86GHz
<i>Chipset</i>	Intel NM10
<i>Memoria Instalada</i>	SO-DIMM DDR3 2GB
<i>Gráficos</i>	Intel GMA 3650
<i>Interface de disco</i>	SATA II para 2.5"HDD o SSD
<i>Red Inalámbrica</i>	Support IEEE 802.11 b/g/n
<i>Puertos Frontales</i>	Dos puertos USB 3.0 Lector 5 en 1, SD/SDHC/MS/MS Pro/MMC
<i>Puertos Traseros</i>	Gigabit LAN 4 puertos USB 2.0 Puerto VGA

Equipo de Red

Enrutador: D-Link Dir-610n+



Figura 3. Vista frontal del enrutador

Especificaciones técnicas relevantes:

- 4 Puertos LAN 10/100Mbps
- Cable utilizado: UTP Cat 5e

Equipos de Prueba

Computador 1 (Pruebas de Altibase):

Toshiba Satellite S855-S5254



Figura 4. Vista frontal de la computadora 1 de pruebas

Especificaciones técnicas relevantes:

Procesador: Intel Core i7 3610QM 2.3GHz

Memoria: 8 GB SO-DIMM 1600MHz DDR3

Disco duro: 750GB 5400rpm

Sistema operativo: Windows 7 Home Premium 64-bit

Computador 2 (Pruebas de MySQL):

ASUS ROG G751JT-WH71(WX)



Figura 5 Vista frontal de la computadora 2 de pruebas

Especificaciones técnicas relevantes:

Procesador: Intel Core i7-4720HQ 2.6GHz (turbo up to 3.6 GHz).

Memoria: 16 GB RAM.

Disco duro: 512 SSD y 1 TB 7200RPM.

Sistema Operativo: Windows 10 Home Edition

Características del software

En el siguiente apartado se detallan las principales características de los componentes de software utilizados.

Altibase

Requerimientos de Hardware Mínimos

Memoria principal: 1GB

Procesadores: 1

Espacio en disco: 4GB

Sistema operativo: Linux, x86-64

Versión: 6.3.1

Fecha de recuperación: octubre 2015

Controlador ODBC: Altibase_ODBC-6.3.1.1-WINDOWS-X86-64bit

Descripción

Altibase Community Edition es un sistema de gestión de base de datos relacional libre, compatible con las normas ACID y SQL estándar.

Es la versión gratuita de Altibase Enterprise Edition, la cual, de acuerdo con la empresa, es la única base de datos híbrida en la industria, es decir combina las capacidades de almacenamiento en memoria RAM como el almacenamiento de datos en disco. El sistema utiliza una interfaz uniforme que simplifica el procesamiento de datos para una máxima eficiencia.

Esta versión en particular ofrece una implementación híbrida. Permite al administrador elegir el destino de almacenamiento de los datos, ya sea en memoria principal o disco. Sin embargo, para el caso de las pruebas se debe considerar únicamente el almacenamiento en memoria principal (ver Figura 6).

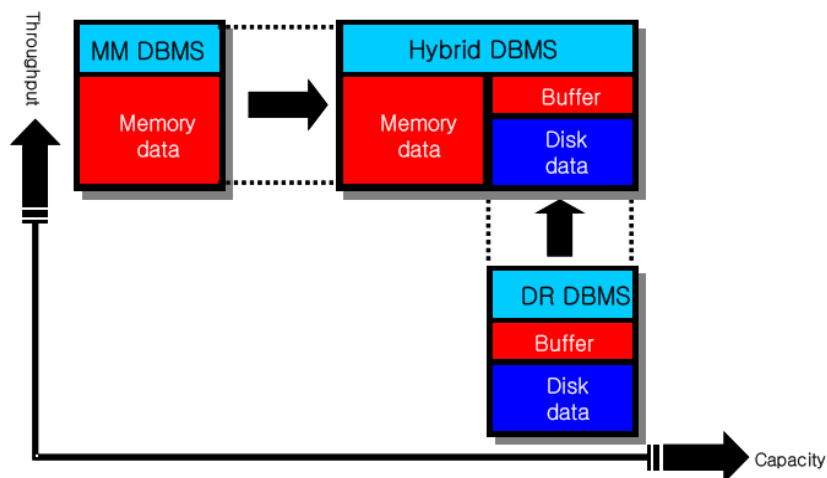


Figura 6. Diagrama de referencia de objetivos para una base de datos híbrida

Replicación en Altibase

La replicación se lleva a cabo de esta manera: el servidor local envía la información de los cambios realizados en el contenido de bases de datos en el servidor remoto, es entonces que el servidor remoto hace los mismos cambios en su base de datos.

Por lo tanto, los servidores locales y remotos operan hilos adicionales (aparte de los hilos de servicio) que son necesarios para la gestión de la replicación.

El hilo de la replicación del remitente en el servidor local envía la información de los cambios realizados en el contenido de bases de datos con el servidor remoto, y luego el hilo receptor de replicación en el servidor remoto, hace que los mismos cambios en la base de datos en el servidor remoto (ver Figura 7). Además, el remitente y la replicación hilos del receptor detectan automáticamente si los servidores correspondientes cierran normalmente, y en consecuencia realizar las tareas de recuperación de ser necesario.

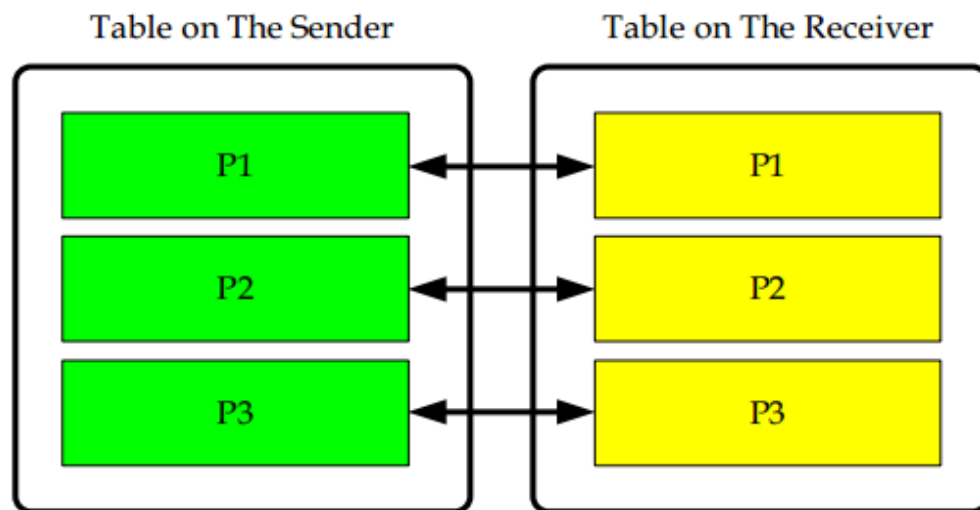


Figura 7. Estructura de una Tabla particionada utilizando replicación

Tolerancia a fallos en Altibase

"Fail-Over" se refiere a la capacidad de superar un fallo que se produzca durante una base de datos está en servicio, por lo que el servicio puede seguir prestándose como si no se hubiera producido fallo alguno (ver Figura 8).

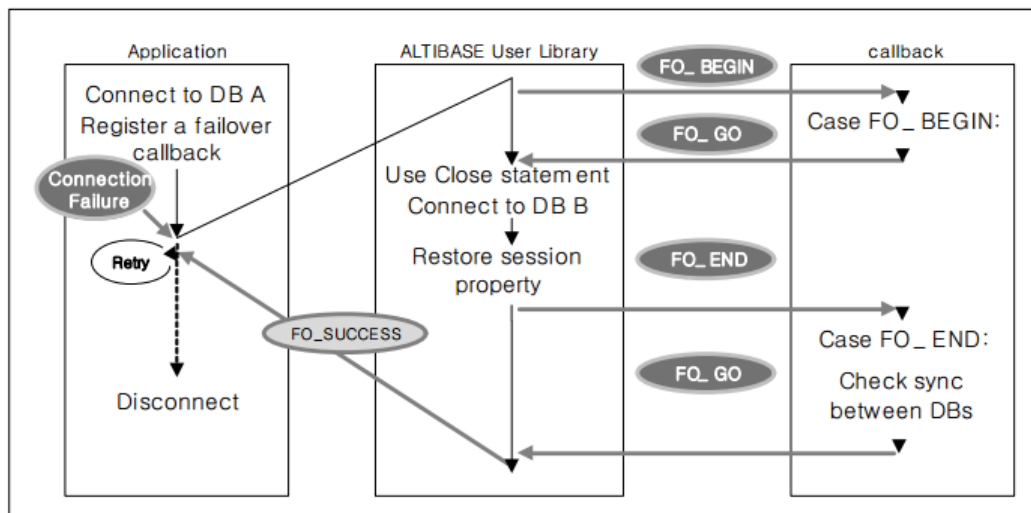


Figura 8. Proceso de Tolerancia a Fallos

Los tipos de defectos que pueden ocurrir incluyen el caso en el que el propio hardware de servidor DBMS desarrolla un fallo, el caso en el que se interrumpe la conexión de red del servidor, y el caso en el que un error de software hace que el DBMS se apague de forma anormal. Cuando cualquiera de los tipos anteriores de fallo se produce, Fail-Over hace que sea posible conectarse a otro servidor, por lo que el servicio puede ser proporcionado sin interrupción, y para que las aplicaciones cliente nunca son conscientes de que se ha producido un fallo.

Hay dos tipos de Fail-Over, distinguen entre sí de acuerdo con el punto de tiempo en el cual la existencia de un fallo pasa a ser conocida:

- CTF (Fail-Over de Conexión)
- STF (Fail-Over de Servicio)

CTF se refiere al caso en que el fallo se observó en el momento de la conexión con el DBMS, y la conexión se hace a un DBMS en otro nodo disponible en lugar de a los DBMS que sufren de la falta, por lo que el servicio puede seguir prestando.

En el caso de STF, por el contrario, se produce un fallo mientras que el servicio se proporciona posterior a la conexión con el DBMS, la reconexión se hace para un DBMS en otro nodo disponible, y las propiedades de sesión se restauran, de modo que la lógica de negocio de la aplicación del usuario puede seguir utilizándose.

Por lo tanto, las tareas que actualmente se ejecutan en el DBMS en el que ha aparecido el fallo pueden necesitar ser ejecutadas de nuevo.

Los tres tipos de tareas relacionadas con Fail-Over que deben ser ejecutadas por la aplicación cliente se resumen de la siguiente manera:

- La propiedad de conexión Fail-Over debe establecerse en TRUE
- La función Fail-Over debe estar registrada
- Otras tareas pueden ser necesarias dependiendo del resultado de la respuesta de llamada.

MySQL Cluster

La base de datos MySQL Cluster es una base de datos transaccional en tiempo real que reside en memoria. Está diseñada utilizando una arquitectura distribuida con soporte de varios maestros y sin puntos únicos de fallos.

La base de datos de MySQL Cluster integra el servidor de bases de datos de MySQL con un motor de almacenamiento anidado llamado NDB. Los datos dentro de esta BDM pueden ser accedidos mediante diferentes tipos de conectores como PHP, Java, .NET, así como por instrucciones estándares de SQL.

La arquitectura de MySQL Cluster consiste en 3 tipos de nodos diferentes, cada uno de ellos con un propósito específico.

La Figura 9 muestra una versión simplificada de la arquitectura de MySQL Cluster, en ella se muestran doce nodos de datos distribuidos en 6 grupos.

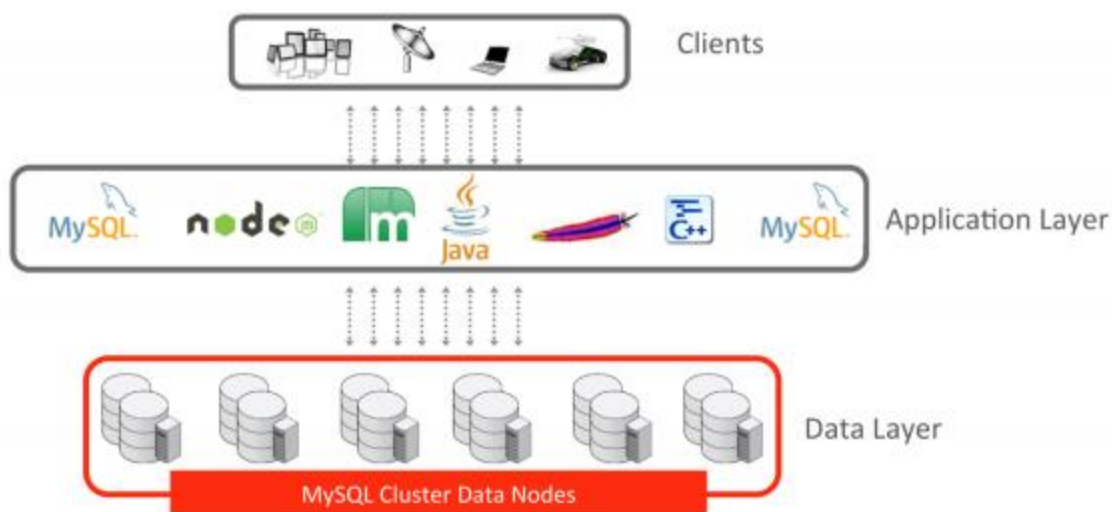


Figura 9 Arquitectura de MySQL Cluster (tomada de MySQL datasheet)

Los nodos de datos son los nodos principales de MySQL y entre sus funciones podemos encontrar

- Almacenar y manejar tanto los datos en memoria como los datos almacenados en disco
- Particionamiento automático de las tablas
- Replicación sincrónica de los datos entre los nodos de datos
- Recuperación de datos y de transacciones
- Fail over automático
- Re-sincronización automática después de una falla.

Otro tipo de nodos son los nodos de aplicaciones, ellos son los que proveen conectividad entre las aplicaciones lógicas con los nodos de datos. Los programas pueden acceder a la base de datos utilizando lenguaje SQL a través de alguno de los nodos que funcionan como interface.

El último tipo de nodo de MySQL Cluster es el nodo de control, los cuales son responsables de informar cual es la configuración del clúster a todos los demás nodos. Estos nodos se utilizan al arrancar el clúster, cuando algún nodo quiere unirse al clúster o cuando ha habido una reconfiguración del clúster. Por defecto, los nodos de control también son responsables de dar servicios de arbitraje cuando así se requiera (Oracle, 2015).

Benchmark Factory for Databases

Benchmark Factory es una herramienta de pruebas de rendimiento y de código de escalabilidad que simula usuarios y transacciones sobre una base de datos, puede reproducir las cargas de trabajo de una base de datos real en una de ambiente de controlado de pruebas.

Esta herramienta está disponible para bases de datos de Oracle, SQL Server, DB2, Sybase, MySQL y otras a través de objetos de conexión ODBC. (Dell , 2015).

Benchmark Factory está en capacidad de manejar los siguientes estándares de rendimiento de la industria:

- AS3AP Benchmark¹
- Scalable Hardware Benchmark²
- TPC-B Benchmark³
- TPC-C Benchmark
- TPC-D Benchmark
- TPC-E Benchmark
- TPC-H Benchmark

¿Cómo funciona el programa?

El programa interactúa con el usuario a través de una consola, en donde se implementa la carga de trabajo y los controles en una o más de las maquinas que corren los agentes. Cada uno de estos agentes puede simular cientos de usuarios.

¹ <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/gray/BenchmarkHandbook/chapter5.pdf>

² Subset del estándar AS3AP

³ Estándares del TPC <http://www.tpc.org/information/benchmarks.asp>

Estos agentes envían transacciones al sistema en evaluación y se encargan de almacenar todas las estadísticas de estas transacciones, al final de cada iteración, los agentes reportan cada uno de sus resultados al programa principal.

Una vez que se han completado las pruebas, el programa puede presentar algunos reportes y entre las métricas que se pueden observar se incluyen:

- Transacciones por segundo (TPS)
- Tiempo de transacción
- Bytes por segundo (BPS)
- Filas por segundo (RPS)
- Bytes totales
- Errores totales
- Tiempo de respuesta

Estos resultados pueden exportarse en formato de Excel para ser procesados posteriormente, como es el caso de este trabajo (Dell , 2015). Los resultados de las evaluaciones se han visualizado por medio de herramientas del software Tableau.

Para este trabajo se ha utilizado el software de Benchmark Factory versión 7.2 en modo de evaluación, el cual cuenta con casi todas las características para correr pruebas, además se utiliza un único agente que será el encargado de simular hasta un máximo de 100 usuarios, esto debido a limitaciones de licenciamiento.

La configuración del tipo de trabajo a correr se hace mediante la consola principal, se observa en la Figura 10, las diferentes opciones de estándares a utilizar, en el caso particular de los trabajos de este documento, el estándar seleccionado fue el TPC-C.

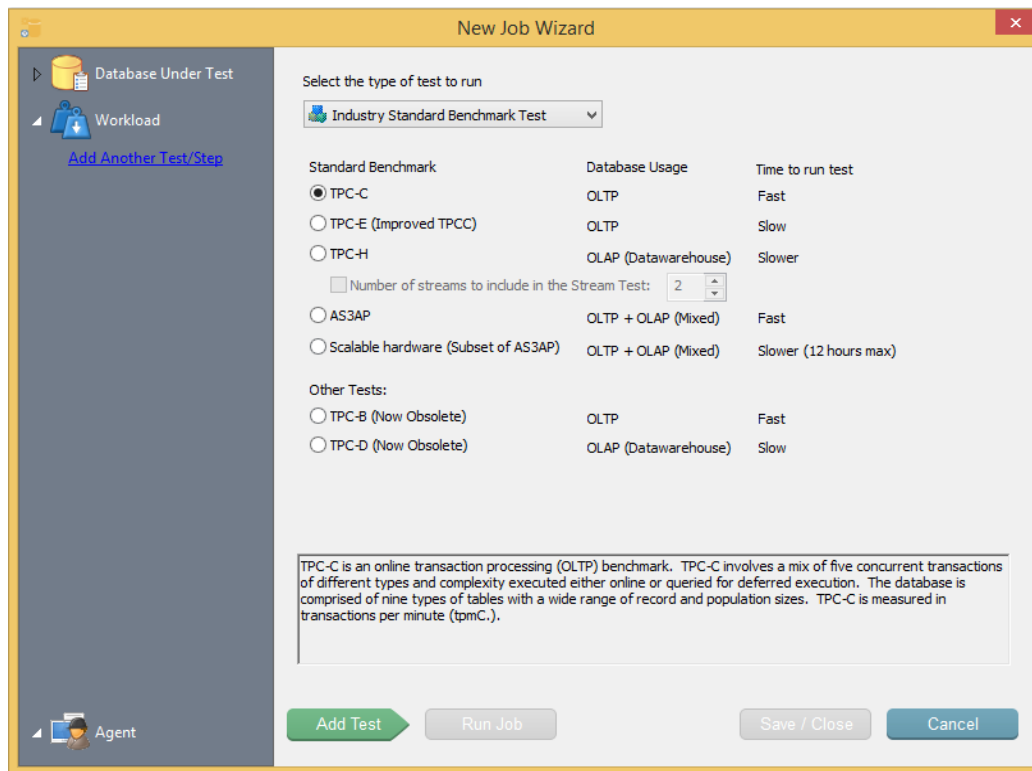


Figura 10 Creación de nuevo trabajo (Captura del programa Benchmark Factory)

Una vez que se ha seleccionado el tipo de prueba se procede a configurar un trabajo nuevo, este trabajo es el que el agente se encargará de ejecutar en la base de datos a prueba. La Figura 11, nos muestra las opciones que podemos cambiar para generar distintos tipos de trabajos, es en esta sección es donde se configuran cada una de las pruebas del capítulo 7.

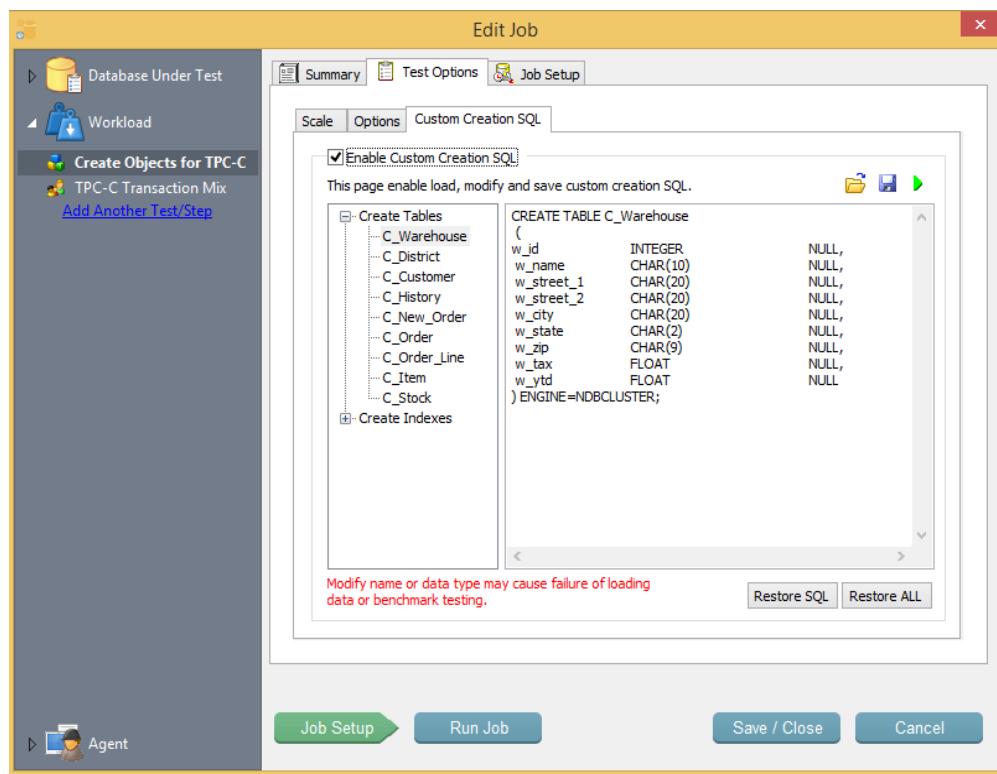


Figura 11 Nuevo trabajo (captura de Benchmark Factory)

Otro aspecto que es importante resaltar es que la conexión al servidor de la base de datos se hace a través de objetos ODBC, uno para MySQL y el otro para Altibase.

Escenarios de pruebas

Existen diversos escenarios para evaluar las pruebas entre los sistemas de administración de bases de datos en memoria: Por cantidad de usuarios virtuales y configuraciones de nodos. El eje principal de la descripción y análisis de pruebas es la cantidad de usuarios. Todas las pruebas se realizan en ambientes simulados con una cantidad creciente de usuarios.

También la cantidad de nodos, configuración de conexiones y fallos aleatorios son variables que se exponen entre los diferentes escenarios.

Definición de variables

A continuación, se muestran la lista de variables dependientes e independientes identificadas para las pruebas de rendimiento de los motores de bases de datos

Variables independientes: Configuración de escenario de prueba (Cantidad de usuarios, nodos, conexiones y fallos aleatorios).

Variables dependientes: Desempeño (Medido en: Transacciones por Segundo, Errores, Bytes Transferidos, Tiempos mínimos y máximos de respuesta)

Escenario 1. Un solo nodo

Se presenta a continuación una representación gráfica de la prueba con el SABDRM instalado en un solo nodo

Diagrama topológico

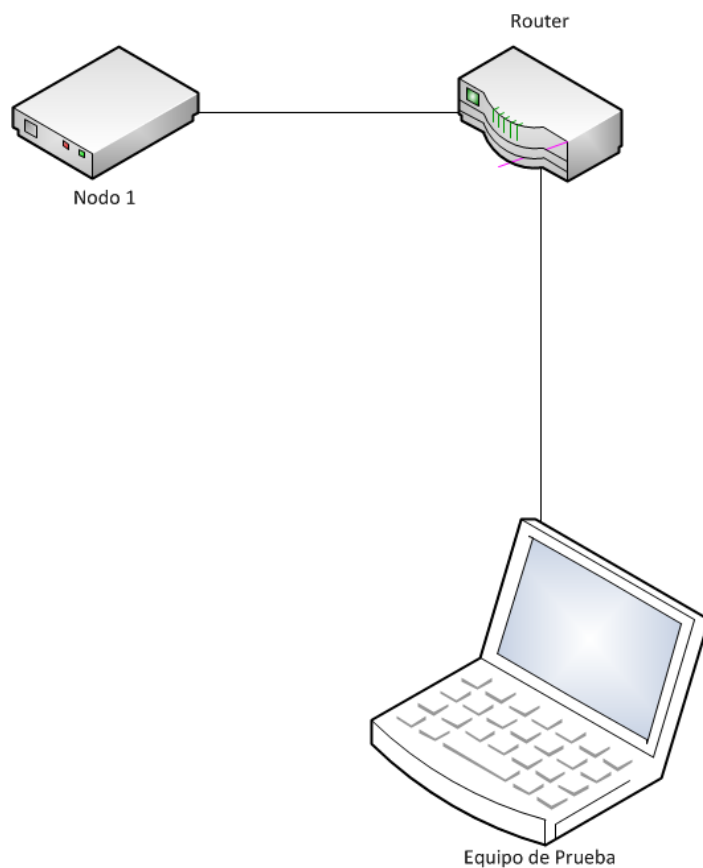


Figura 12. Diagrama Topológico: Solo 1 nodo, sin tolerancia a fallos

Descripción del escenario y muestra de resultados

La Figura 12 muestra el SABDRM instalado en un solo nodo, sin redundancia o tolerancia a fallos. La conexión entre el equipo que ejecuta la prueba y el nodo es estable utilizando un cable de red a través del router.

Se realizan tres tipos de pruebas con cantidades variables de usuarios:

Tabla 1. Resumen de pruebas del escenario 1

Prueba	Tamaño [MB]	Cantidad inicial de usuarios	Incrementos	Cantidad Final
Baja densidad	256	10	5	30
	512			
Alta densidad (grupo 1)	256	20	20	100
	512			
Alta densidad (grupo 2)	256	25	25	100
	512			

Resultados

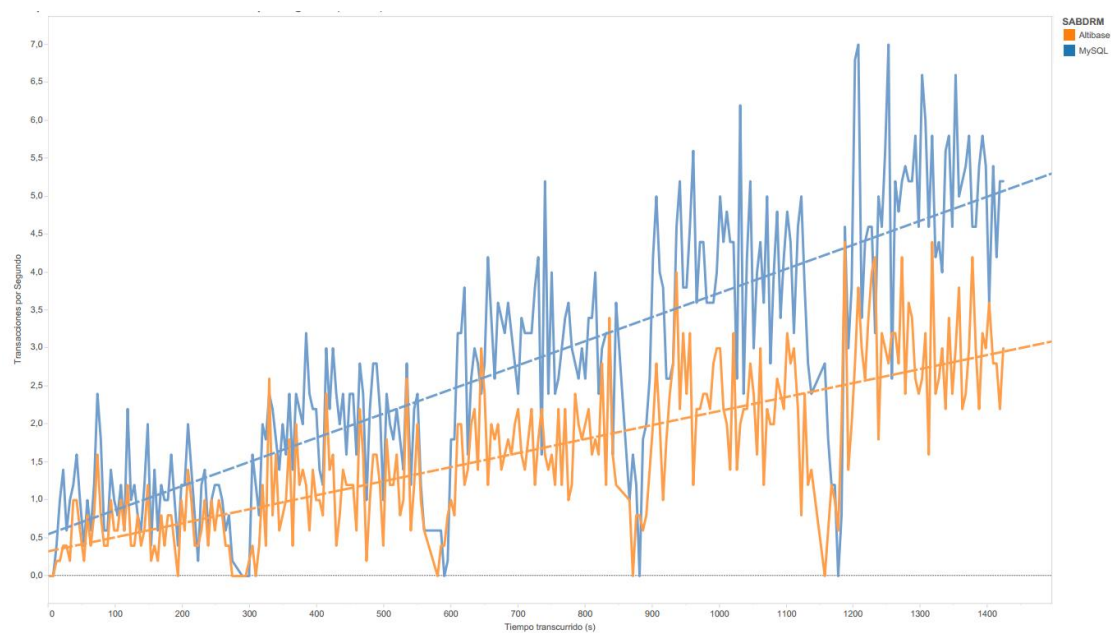


Figura 13. Promedio de Transacciones por Segundo en prueba de Alta densidad (grupo 1) para dataset 512MB



Figura 14. Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración de Alta densidad (grupo 2) y dataset de 512MB

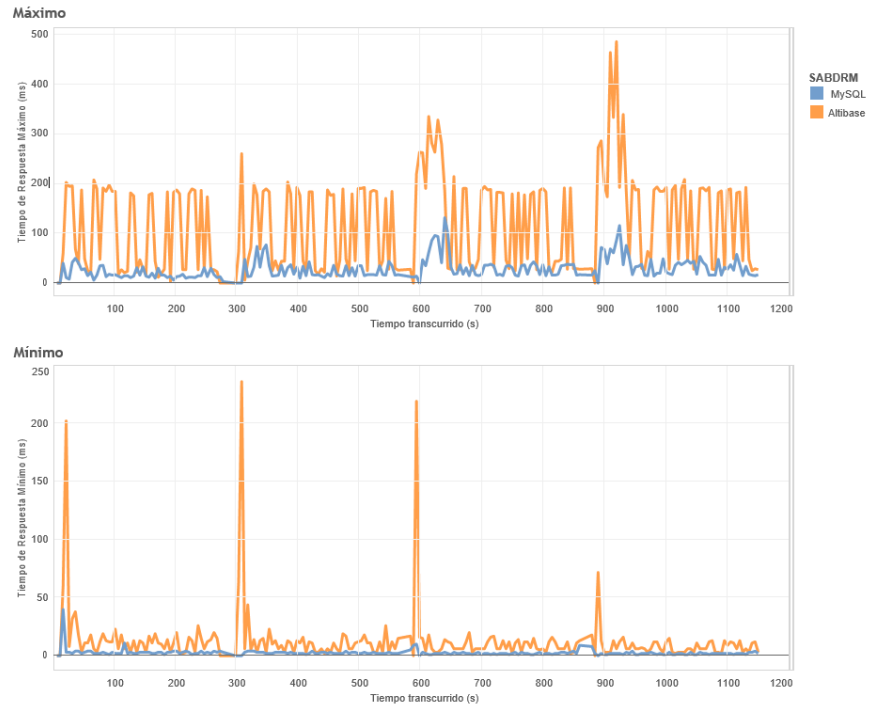


Figura 15. T Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración de baja densidad y dataset de 256MB

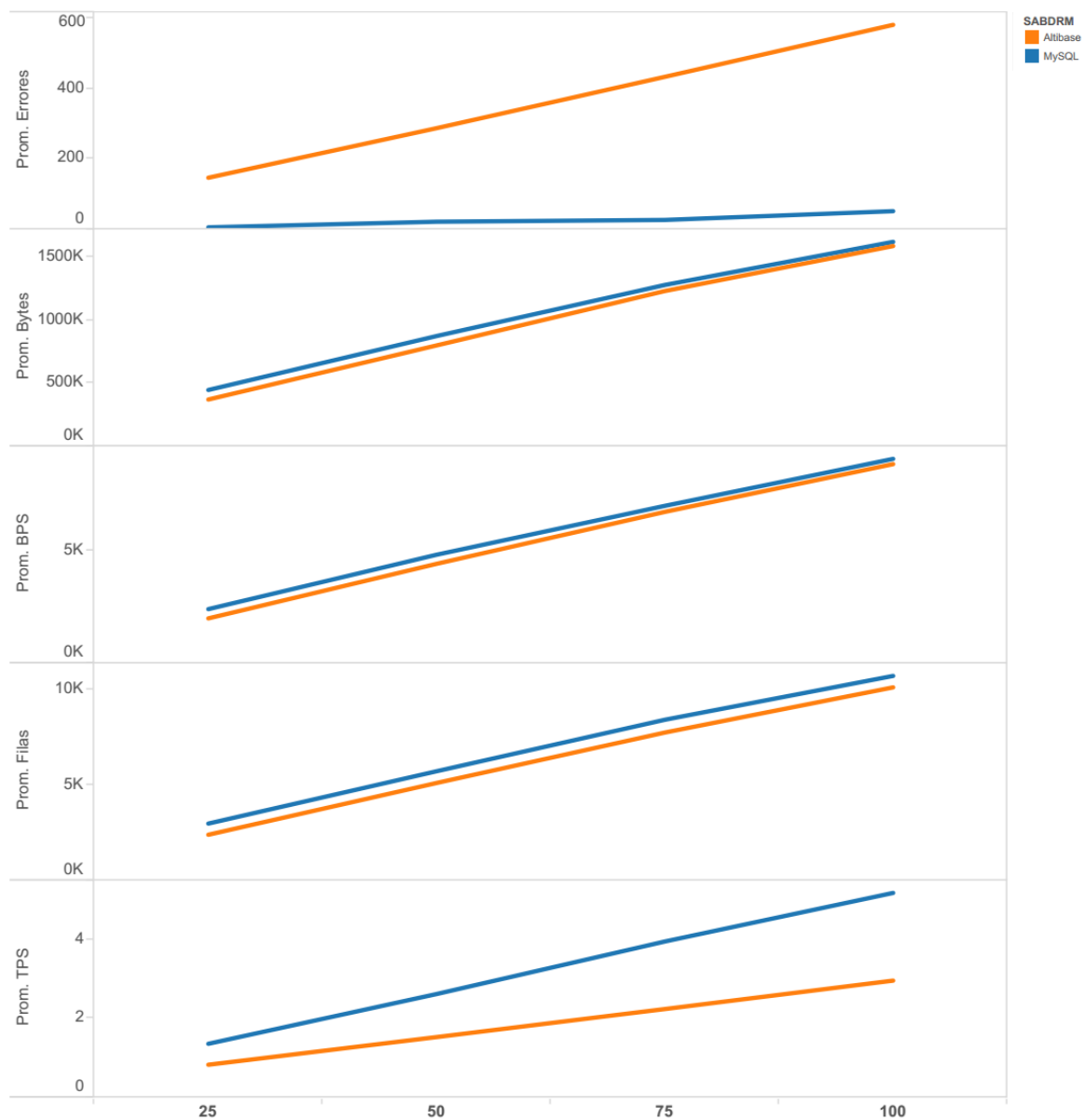


Figura 16. Gráfico integrado de indicadores de desempenho em cenário de alta densidade (grupo 2) para dataset de 512 MB

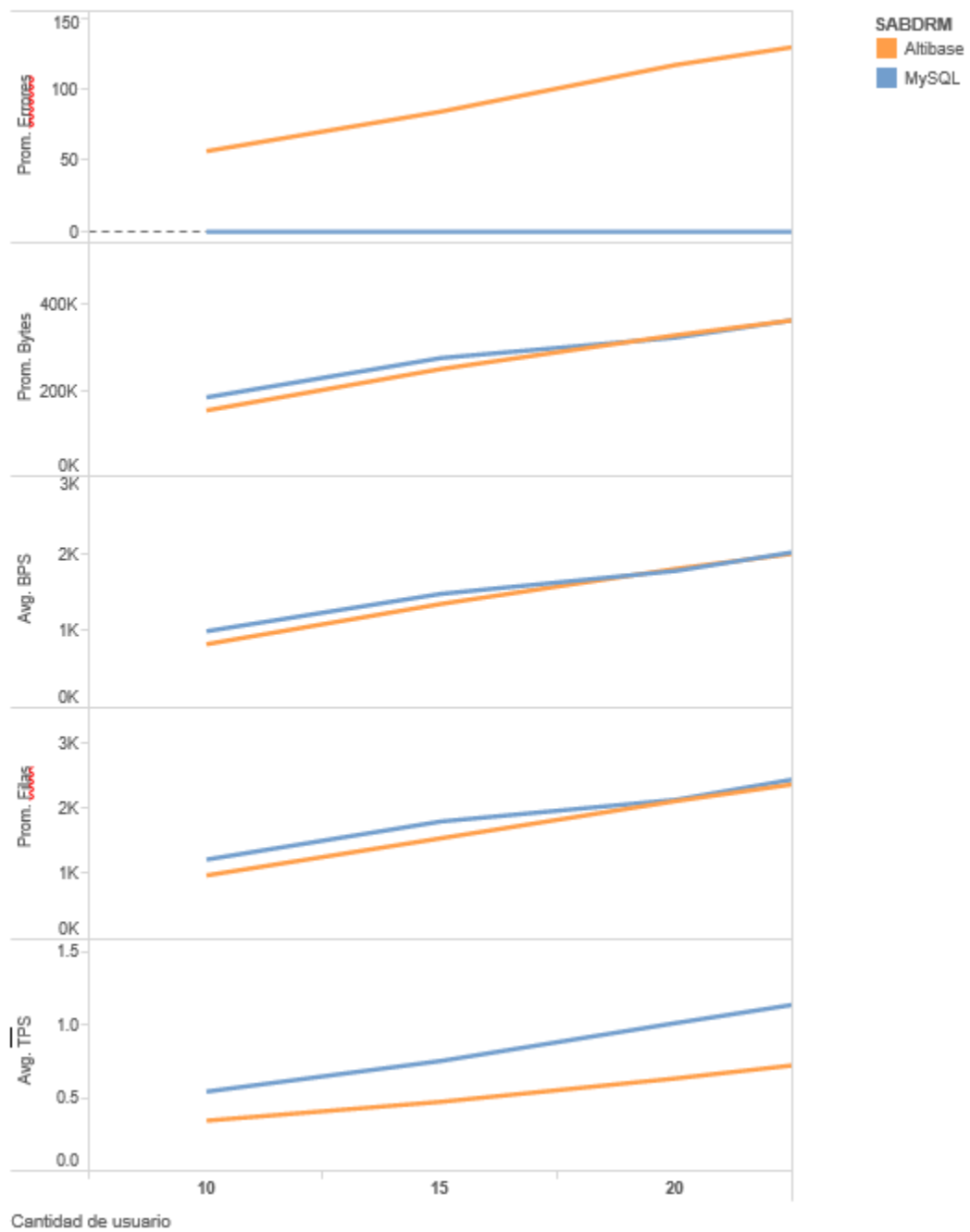


Figura 17. Gráfico integrado de indicadores de desempeño en escenario de baja densidad para dataset de 256 MB

Análisis

Nota: Ver apéndice 4 para el resto de los gráficos.

TPS Promedio

La Figura 13 muestra los resultados de ambos SABDRM, diferenciados y con líneas de tendencias propias. También se pueden observar los valles que determinan, en la línea de tiempo, las pausas transaccionales cuando cambia de una prueba a otra. En este caso particular, el gráfico muestra una prueba Alta densidad (tipo 1), el cambio más significativo con respecto a los otros tipos de pruebas radica en la cantidad de valles y la pendiente de las líneas de tendencia. Es visible una relación estrecha entre cantidad de usuarios y la pendiente según lo muestra la Figura 13 y las ilustraciones en el apéndice 4. El desempeño de MySQL es claramente superior a Altibase en todas las pruebas e independientes del tamaño total de la base de datos.

Tiempos de Respuesta

Según las ilustraciones 14, 15 y relacionadas (ver apéndice 4), los tiempos de respuesta son fluctuantes en el caso de Altibase. MySQL presenta una tendencia más estable y comparativamente menor. Este comportamiento se mantiene independiente de la cantidad de usuarios o el tamaño asignado a la base de datos.

Comparación de índices de desempeño

Las ilustraciones 16 y 17 muestran que el comportamiento de los indicadores es creciente y con una relación a la cantidad de usuarios. A pesar de que MySQL es

superior en cuanto a Bytes transferidos, Filas y BPS, la diferencia mínima se acorta conforme al aumento en la cantidad de usuarios. No sucede así con el promedio de TPS, donde la diferencia es más marcada y proporcional a la cantidad de usuarios. Finalmente, es clara la ocurrencia exclusiva de errores en Altibase, proporcional a la cantidad de usuarios, filas y Bytes transferidos. Esto es visible tanto para 256MB como para 512MB

Escenario 2. Dos Nodos

Se presenta a continuación una representación gráfica de la prueba con el SABDRM instalado dos nodos.

Diagrama topológico

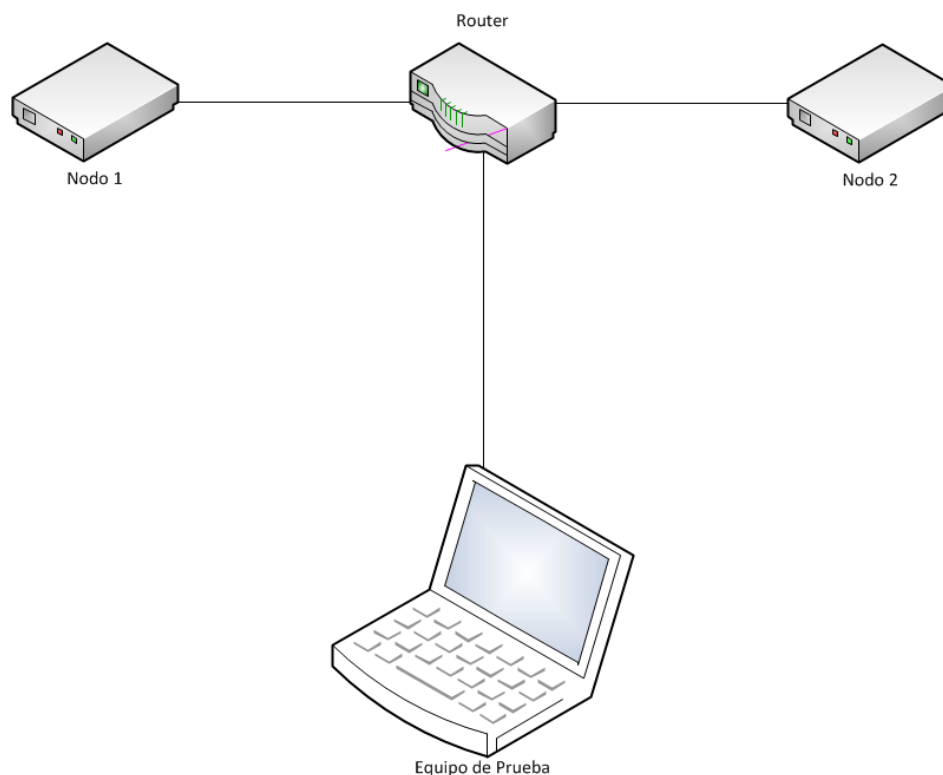


Figura 18. Diagrama Topológico: Dos nodos con tolerancia a fallos

Descripción del escenario y muestra de resultados

La Figura 18 muestra el SABDRM instalado en dos nodos, con redundancia o tolerancia a fallos. La conexión entre el equipo que ejecuta la prueba y los nodos es estable utilizando un cable de red a través del router.

Se realizan tres tipos de pruebas con cantidades variables de usuarios:

Tabla 2 Resumen de pruebas del escenario 2

Prueba	Tamaño [MB]	Cantidad inicial de usuarios	Incrementos	Cantidad Final
Baja densidad	256	10	5	30
	512			
Alta densidad (grupo 1)	256	20	20	100
	512			
Alta densidad (grupo 2)	256	25	25	100
	512			

Resultados

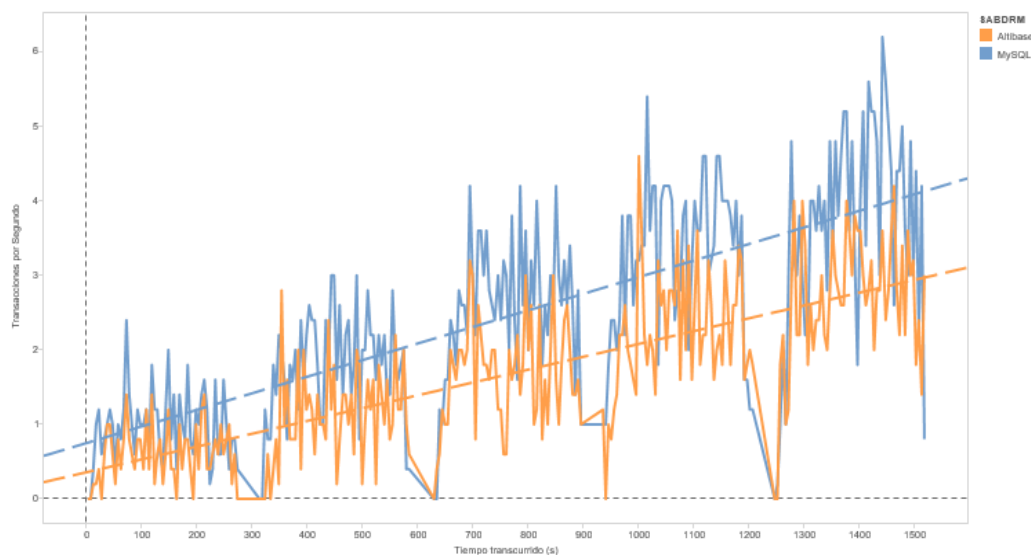


Figura 19 Promedio de Transacciones por Segundo en prueba de Alta densidad (Grupo 1) con dataset de 256MB

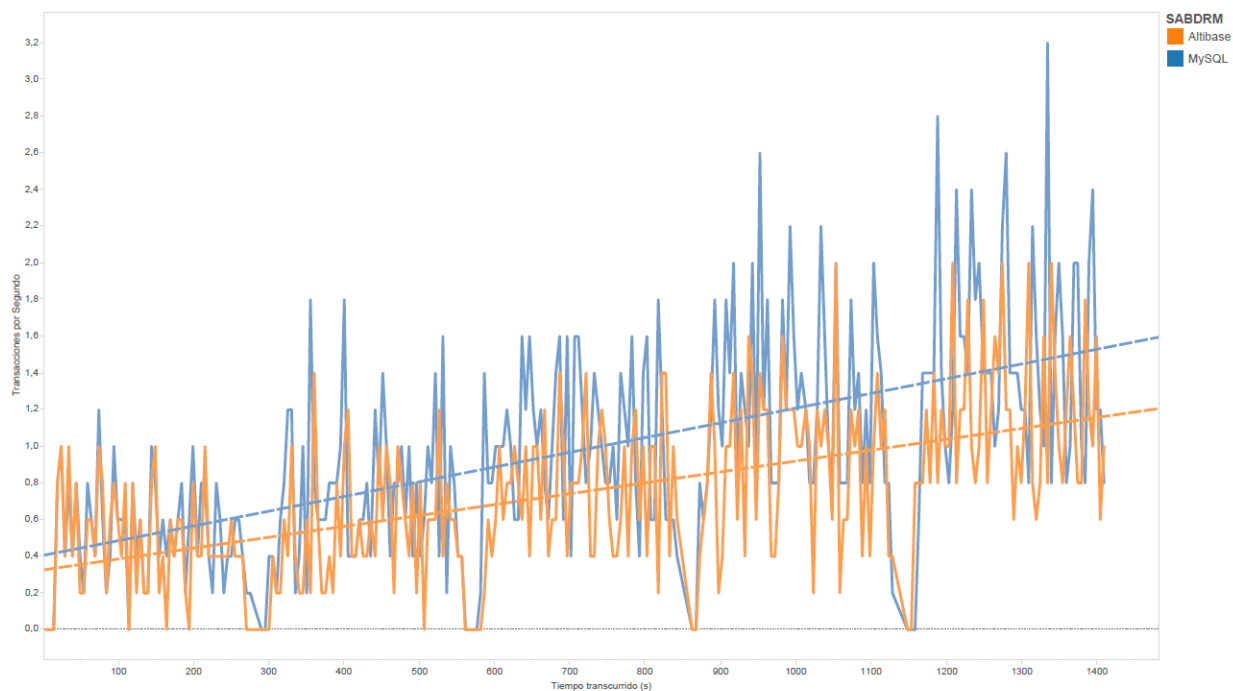


Figura 20 Promedio de Transacciones por Segundo en prueba de Baja densidad con dataset de 512MB

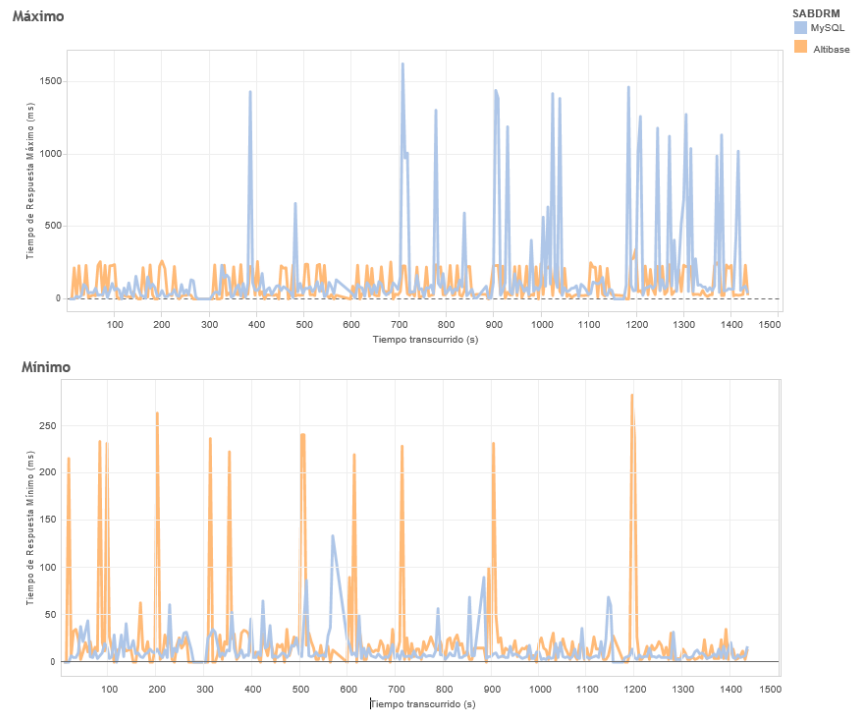


Figura 21. Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración de baja densidad con dataset de 256MB

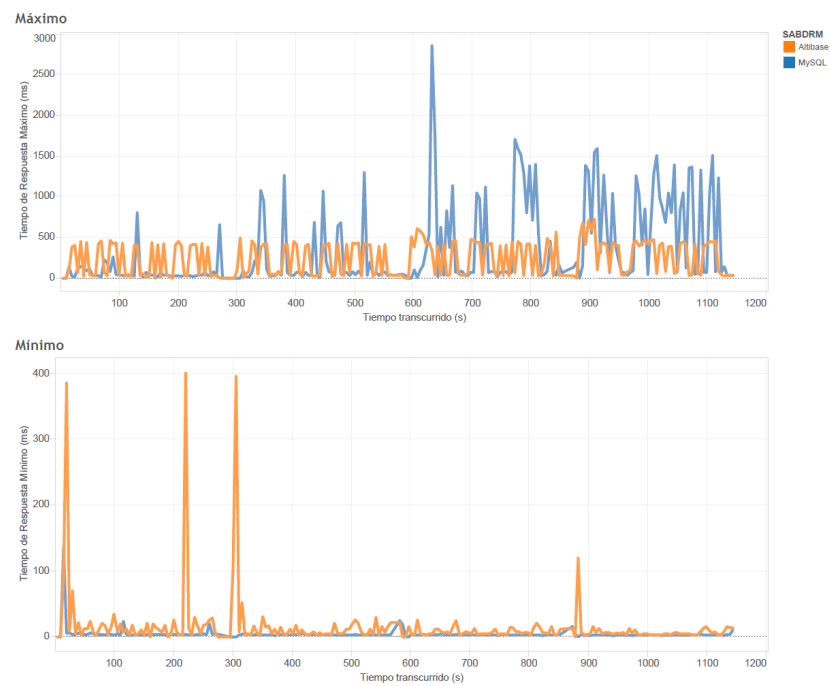


Figura 22 Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración en Alta densidad (Grupo 2) con dataset de 512MB

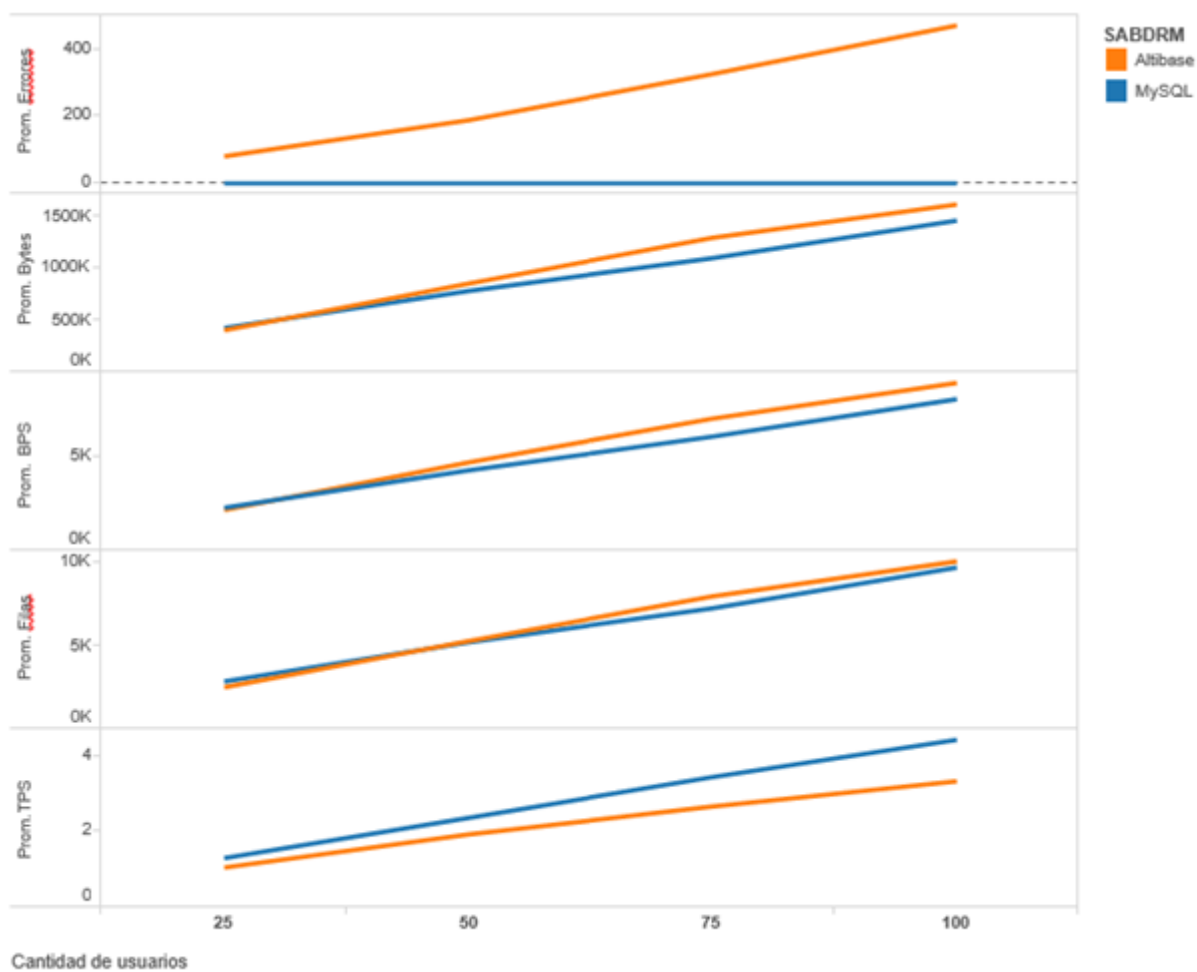


Figura 23. Gráfico integrado de indicadores de desempenho em cenário de alta densidade (grupo 2) com dataset de 256MB

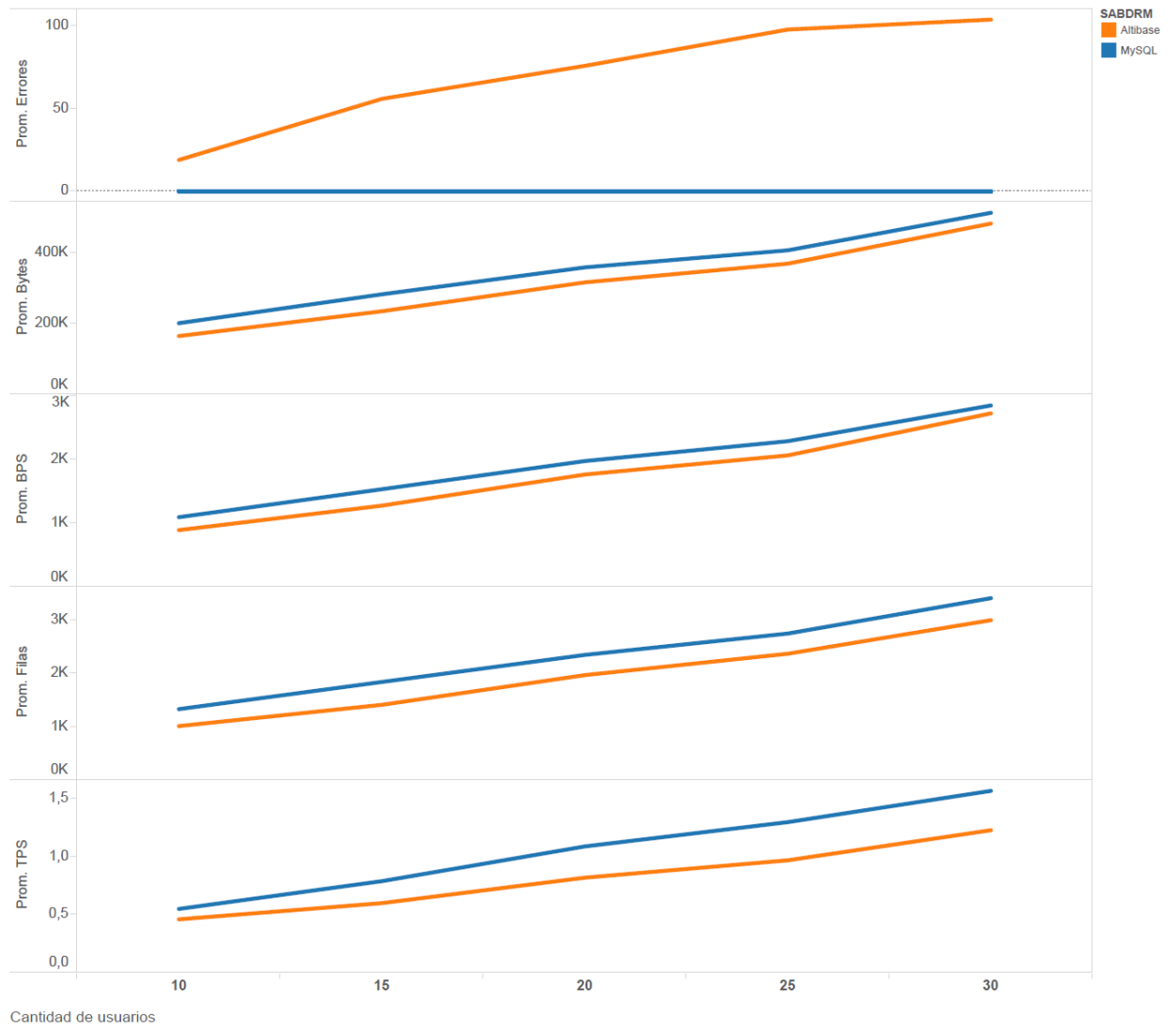


Figura 24 Gráfico integrado de indicadores de desempeño en escenario de baja densidad con dataset de 512MB

Análisis

Nota: Ver apéndice 4 para el resto de los gráficos.

TPS Promedio

Las Figura 19 y 20 nos muestran los resultados del comportamiento de las transacciones por segundo (TPS) de las bases de datos MySQL y Altibase durante la ejecución de las pruebas con dos nodos con una conexión estable, este comportamiento, es el que se espera se dé durante la mayor parte del tiempo en que los servidores se estén utilizando.

En este caso particular, los gráficos muestran una prueba Alta densidad (tipo 1) con un dataset de 256MB y una de baja de densidad con un dataset de 512MB, se observa que el comportamiento es muy similar por parte de los motores de bases de datos, es decir, las tendencias no se ven afectados por la cantidad de datos en la memoria, pero si se observa con detalle que la cantidad máxima de TPS se reduce a casi la mitad al aumentar los datos. También, es visible una relación estrecha entre cantidad de usuarios y la pendiente según lo muestran ambas ilustraciones en esta sección y las ilustraciones en el apéndice 4 de las pruebas para este tipo de configuración. El desempeño de MySQL es superior a Altibase sin importar la cantidad de usuarios.

Tiempos de Respuesta

Las Figura 21 y 22, además de las relacionadas para la misma configuración en el apéndice 4 muestran que los tiempos de respuesta máximos de Altibase aumentan

de manera significativa conforme transcurre el tiempo de las pruebas, la cantidad de usuarios no parece afectar esta tendencia. MySQL presenta una tendencia más estable que no supera los 5000 ms mientras que Altibase presenta tiempos de respuesta máximos alrededor de los 25 mil milisegundos en los peores casos.

Comparación de índices de desempeño

Las Figura 23 y 24 nos muestran que el comportamiento de los indicadores es creciente y con una relación directa a la cantidad de usuarios. Una tendencia que se observa al analizar estas ilustraciones como las que se encuentran en el apéndice 4 para la misma configuración es que Altibase, tiene mejores promedios de Bytes y filas transferidos que MySQL cuando los datos de la BDM son de 256MB; este comportamiento es el contrario cuando la cantidad de datos aumenta. Además, se observa que el promedio de TPS es mayor para MySQL sin importar el tamaño de la base de datos.

Escenario 3. Dos Nodos con conexión aleatoria

Se presenta a continuación una representación gráfica de la prueba con el SABDRM instalado dos nodos, la línea discontinua indica que la conexión entre el nodo y el router no está siempre activa.

Diagrama topológico

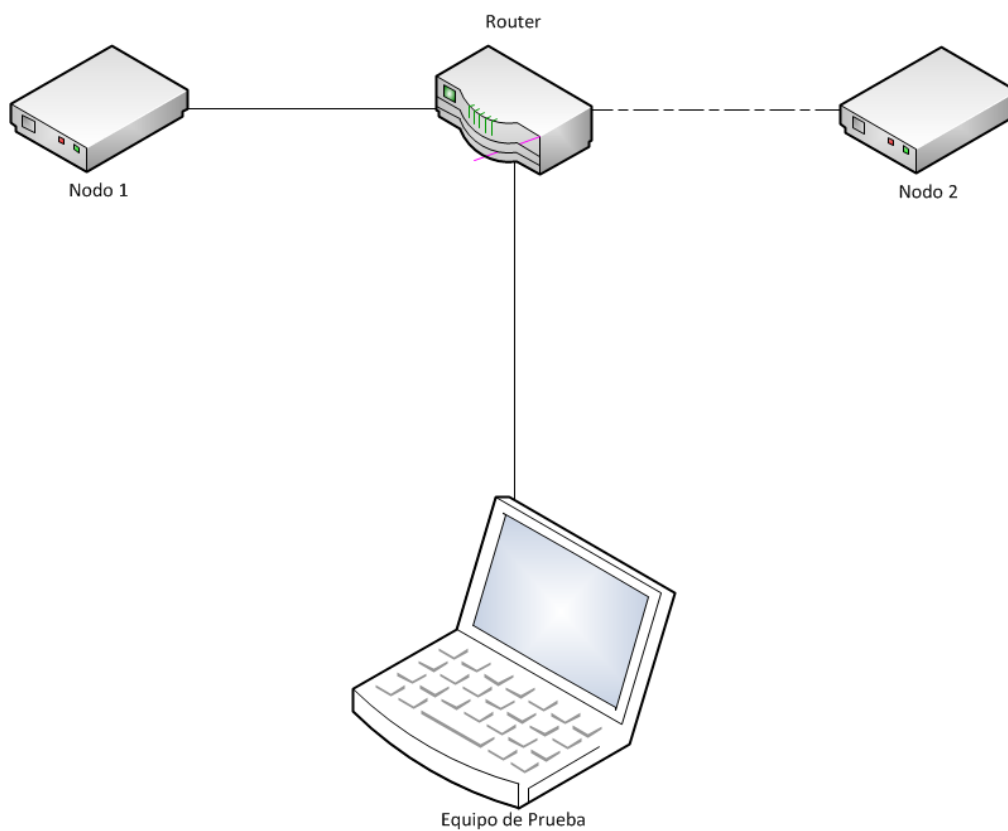


Figura 25. Diagrama Topológico: Dos nodos con tolerancia a fallos y aleatoriedad en la conexión

Descripción del escenario y muestra de resultados

La Figura 25 nos muestra la SABDRM instalado en dos nodos, con redundancia o tolerancia a fallos. Entre el equipo que ejecuta la prueba y los nodos es estable utilizando un cable de red a través del router. Se induce una desconexión entre el nodo y el enrutador de manera aleatoria con el fin de simular una caída del funcionamiento de alguno de los nodos.

Se realizan tres tipos de pruebas con cantidades variables de usuarios:

Tabla 3 Resumen de pruebas del escenario 3

Prueba	Tamaño [MB]	Cantidad inicial de usuarios	Incrementos	Cantidad Final
Baja densidad	256	10	5	30
Alta densidad (grupo 1)	256	20	20	100
Alta densidad (grupo 2)	256	25	25	100

Resultados

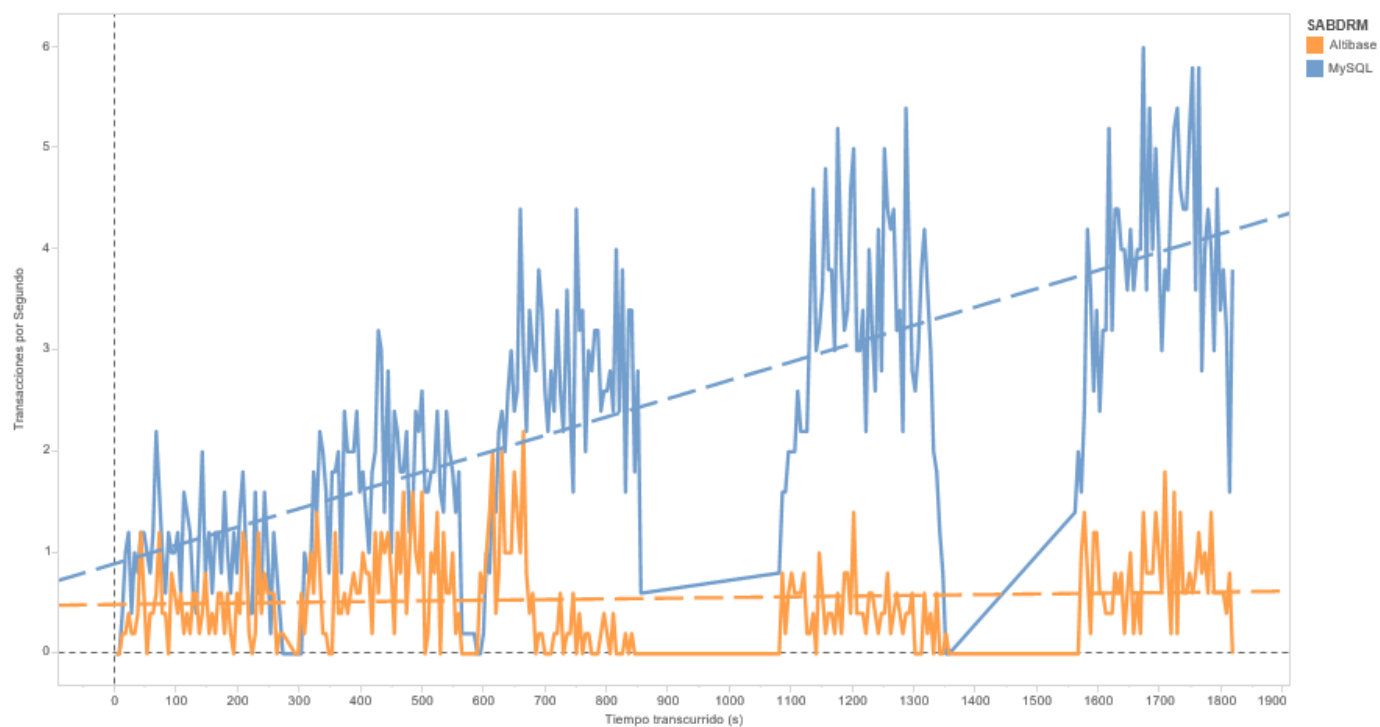


Figura 26 Promedio de Transacciones por Segundo en prueba de Alta densidad (Grupo 1) con dataset de 256MB

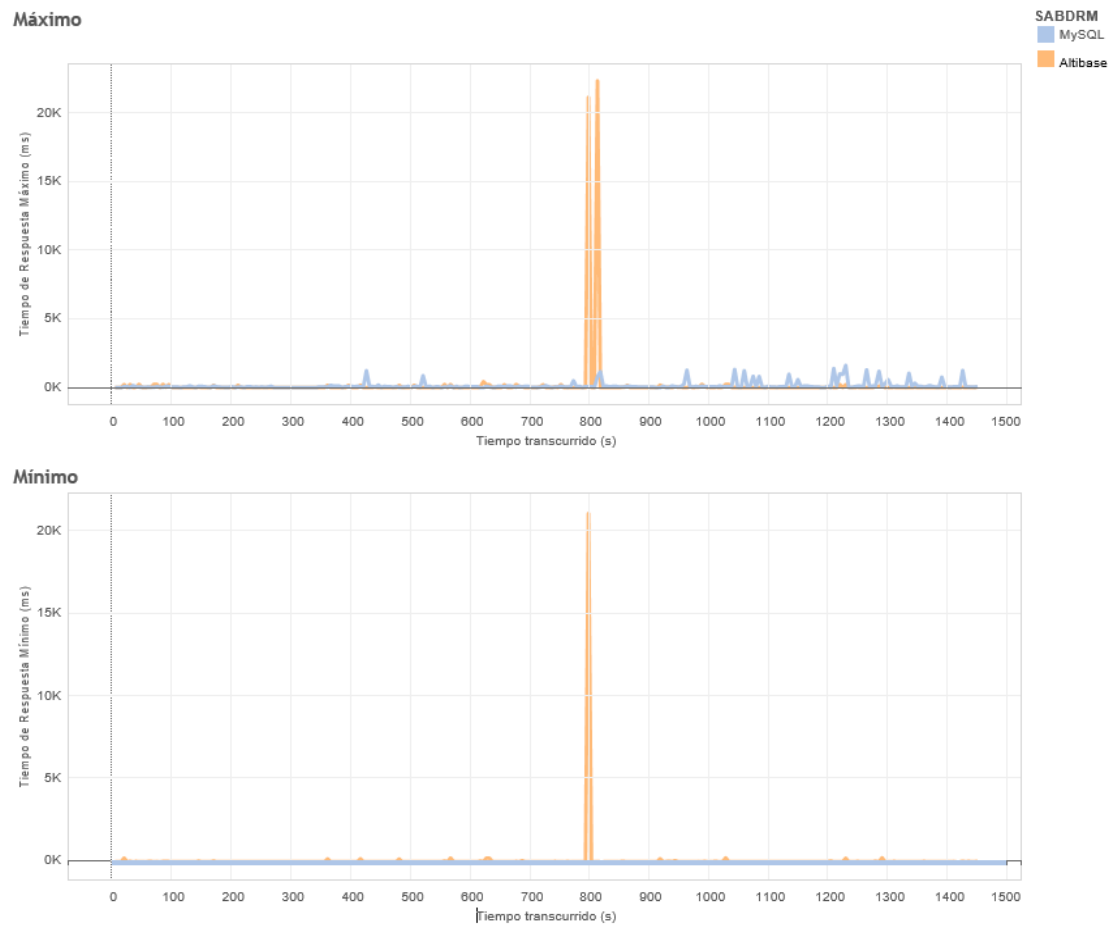


Figura 27. Tiempos de respuesta máximos y mínimos en configuración de baja densidad con dataset de 256MB

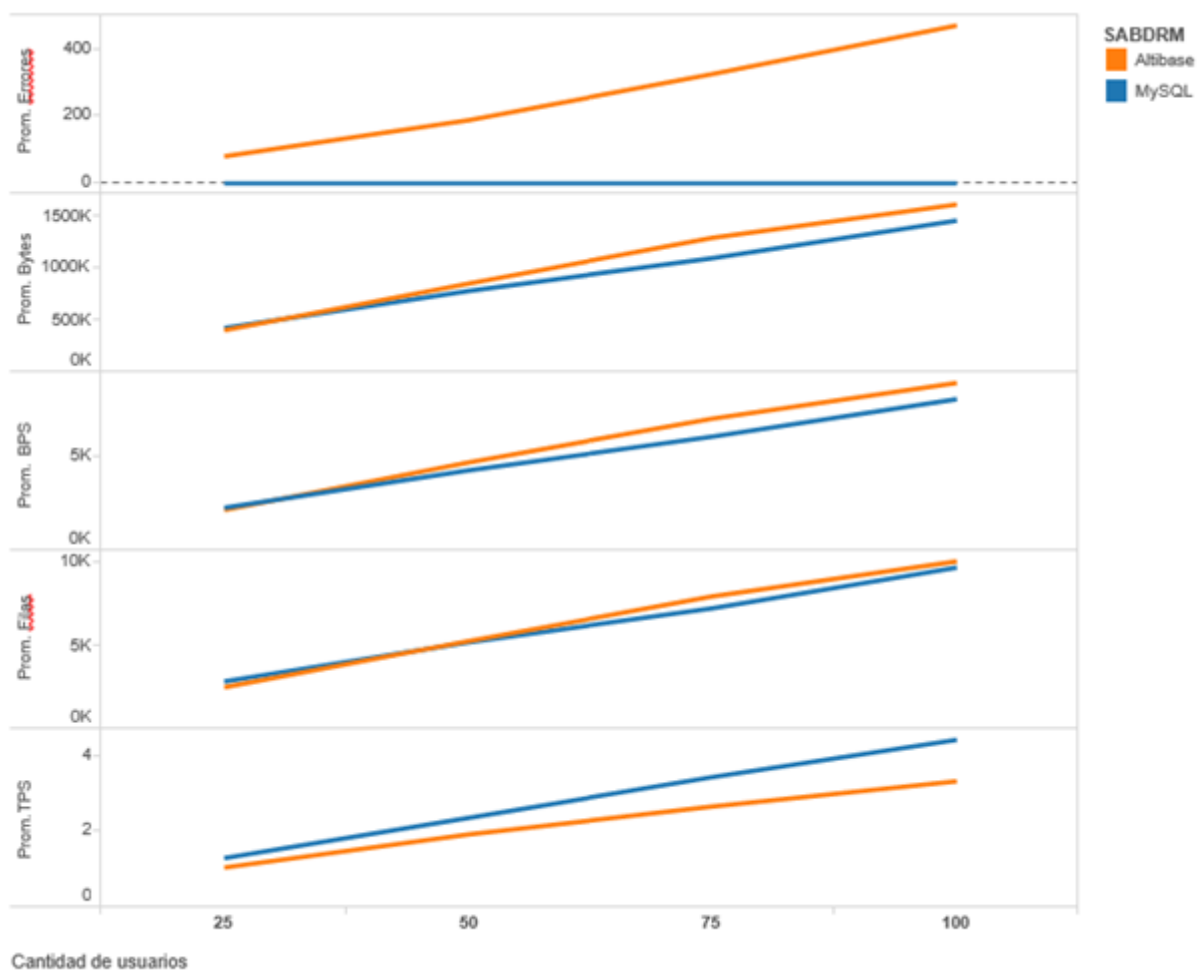


Figura 28. Gráfico integrado de indicadores de desempenho em cenário de alta densidade (grupo 2) com dataset de 256MB

Análisis

Nota: Ver apéndice 4 para el resto de los gráficos.

TPS Promedio

La Figura 26 muestra los resultados de ambos SABDRM, diferenciados por color, además se muestran las líneas de tendencias propias, es importante resaltar que esta línea de tendencia se ha construido en base a los datos obtenidos, y dado que la cantidad máxima de usuarios que se pueden simular con Benchmark Factory en su versión de prueba es de 100, se espera que el comportamiento se extienda de manera lineal conforme aumente los usuarios. Este es el mismo comportamiento observado en las ilustraciones de Transacciones por segundo (TPS) de las ver las pruebas 1, 2 y 3 de la variación 2 escenario 2 con dataset de 256MB del apéndice 4.

La aplicación de bases de datos en memoria en una configuración OPR, ha de suponer que la cantidad de usuarios no es excesiva por lo que estos resultados son los que pueden esperarse en aplicaciones reales.

Al igual que en las otras ilustraciones de TPS a lo largo de este trabajo, se pueden observar los valles que determinan, en la línea de tiempo, las pausas transaccionales cuando transiciona de una prueba a otra, es decir, cuando se cambia la cantidad de usuarios.

En este caso particular, el gráfico muestra una prueba Alta densidad (tipo 1), el cambio más significativo con respecto a los otros tipos de pruebas radica en la cantidad de valles y la pendiente de las líneas de tendencia. Es visible una relación estrecha entre cantidad de usuarios y la pendiente según lo muestra la Figura 26 y las

ilustraciones en el apéndice 4. El desempeño de MySQL es claramente superior a Altibase en todas las pruebas y si se compara estos resultados con la configuración estable de dos nodos, se puede decir con claridad que el comportamiento de MySQL durante los errores introducidos es mejor que el de Altibase.

Tiempos de Respuesta

Según la Figura 27 y relacionadas (ver las pruebas 1, 2 y 3 de la variación 2 escenario 2 256MB en el apéndice 4), los tiempos de respuesta son fluctuantes en el caso de Altibase. MySQL presenta una tendencia más estable y comparativamente menor. También otro punto a rescatar es el comportamiento de los tiempos máximos y mínimos de Altibase los cuales durante la ejecución de las pruebas llegaron a alcanzar valores cercanos a los 20 mil milisegundos; un valor muchísimo mayor a los de MySQL.

Comparación de índices de desempeño

La Figura 28 muestra que el comportamiento de los indicadores es creciente y con una relación a la cantidad de usuarios. A pesar de que MySQL es superior en cuanto a Bytes transferidos, Filas y BPS, la diferencia mínima se acorta conforme al aumento en la cantidad de usuarios. No sucede así con el promedio de TPS, donde la diferencia es más marcada y proporcional a la cantidad de usuarios. Finalmente, es clara la ocurrencia exclusiva de errores en Altibase, proporcional a la cantidad de usuarios, filas y Bytes transferidos.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se identificaron los Sistemas de Administración de Bases de Datos Relacionales en Memoria (SABDRM): Altibase HDB Community Edition y MySQL Cluster como los administradores de bases de datos compatibles con el hardware y los escenarios de evaluación
- Se asociaron las características propias de cada administrador de bases de datos con el hardware existente.
- Se aplicó un plan de pruebas estándar, evaluando las mismas variables entre ambos SABDRM
- Se integraron los resultados en 3 escenarios de pruebas, seguidos de un análisis de cada parámetro de evaluación
- Se determinó que la mejor configuración es utilizar MySQL como SABDRM, combinando los resultados de desempeño con respecto a la tasa de Transacciones por Segundo y seguridad en la redundancia y disponibilidad de los datos mediante la implantación de una configuración tolerante a fallos.
- Se evaluó el desempeño y características de operaciones transaccionales dentro de bases de datos en memoria, utilizando ambientes multi – nodales tolerantes a fallos en ordenadores de placas reducidas.

Recomendaciones

- Utilizar un sistema tolerante a fallos es recomendado para cualquier aplicación que dependa de la memoria principal para almacenar datos. En este caso en particular la redundancia es necesaria para garantizar el acceso a los datos aun después de perder la conexión a uno de los nodos.
- Incrementar la cantidad de memoria al máximo soportado por el hardware o utilizar sistemas con mayor cantidad de ranuras de memoria facilitan esta tarea. Esto debido a que la cantidad de memoria es crítica para la usabilidad de SABDRMs. A pesar de utilizar un sistema operativo frugal en el consumo de memoria principal y limitar la cantidad de procesos en ejecución, un módulo de 2GB solo brindó hasta 512MB netos para los datos.
- Altibase posee la capacidad de combinar almacenamiento tanto en disco como memoria por lo que, en condiciones limitadas de memoria, crear particiones y mover datos históricos o pasivos a almacenamiento en disco mientras se mantienen operaciones dinámicas en memoria es muy beneficioso.

Referencias

- Altavilla, D. (2014). *Intel's Low Power Bay Trail Takes Residence In Tiny, Inexpensive 'NUC' DIY Computer*. Obtenido de <http://www.forbes.com/sites/davealtavilla/2014/01/24/intels-low-power-bay-trail-takes-residence-in-tiny-inexpensive-nuc-diy-computer/>
- Burckle, R. (2011). *The Evolution of Single Board Computers*. Obtenido de http://www.winsystems.com/whitepapers/SBC_Evolution.pdf
- Dell . (Setiembre de 2015). *Benchmark Factory for Database 7.3 – User Guide*. Obtenido de Dell Software: <http://documents.software.dell.com/benchmark-factory-for-database/7.3/user-guide>
- DeWitt, D. J. (Febrero de 2016). *The Wisconsin Benchmark: Past, Present, and Future*. Obtenido de Microsoft Research: <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/gray/BenchmarkHandbook/chapter4.pdf>
- Dobles, C. Z. (1998). *Investigación en educación: procesos, interacciones y construcciones*. San José: EUNED.
- Doerr, J. (1978). Low-cost microcomputing: The personal computer and single-board computer revolutions. *Proceedings of the IEEE (Volume:66 , Issue: 2)* (págs. 117-130). IEEE.
- Heinemann, K. (2003). *Introducción a la metodología de investigación empírica en las ciencias del deporte*. Mexico: Editorial Paidotribo.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.

- Khan, I. (2012). *Falling RAM Prices Drive In-Memory Database Surge*. Retrieved from <http://blogs.sap.com/innovation/big-data/ram-prices-drive-in-memory-surge-020097>
- Kiepert, J. (2013). *Creating a Raspberry Pi-Based Beowulf Cluster*. Obtenido de http://coen.boisestate.edu/ece/files/2013/05/Creating.a.Raspberry.Pi-Based.Beowulf.Cluster_v2.pdf
- Krathwohl, D. R. (2002). *A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview*. Obtenido de http://www.unco.edu/cetl/sir/stating_outcome/documents/Krathwohl.pdf
- Lahiri, T., Neimat, M.-A., & Folkman, S. (2013). Oracle TimesTen: An In-Memory Database for Enterprise Applications. *IEEE Data Engineering Bulletin* 36(2), págs. 6-13.
- Lehman, T., & Carey, M. (1986). A Study of Index Structures for Main Memory Database Management Systems. *Proceeding VLDB '86 Proceedings of the 12th International Conference on Very Large Data Bases* (págs. 294-303). San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Llanos, D. R., & Palop, B. (2006). TPCC-UVa: an open-source TPC-C implementation for parallel and distributed systems. *Proceedings 20th IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium*. Rhodes Island: IEEE.
- Neuvonen, S., Wolski, A., Manner, M., & Raatikka, V. (Febrero de 2016). *Telecom Application Transaction Processing Benchmark*. Obtenido de TATP: <http://tatpbenchmark.sourceforge.net/>
- Oracle. (2015). *Oracle Data Sheet - MySQL Cluster*. Retrieved from <https://www.mysql.com/products/cluster/mysql-cluster-datasheet.pdf>

PC/104 Consortium. (Febrero de 2016). *What is PC/104?* Obtenido de

<http://pc104.org/hardware-specifications/pc104/>

PICMG. (Febrero de 2016). *Open Standards*. Obtenido de

<https://www.picmg.org/openstandards/>

Razo, C. M. (1998). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Pearson Educación.

Rosch, W. L. (1999). *The Winn L. Rosch Hardware Bible*. Que.

Ş Gündüz Ögüdücü, M. G. (2013). A study for performance comparison of different in-memory databases. *Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2013 7th International Conference on* (págs. 1-5). Baku: ICAICT.

Securities Technology Analysis Center LLC. (Febrero de 2016). *STAC-M3 Central*.

Obtenido de STAC: <https://stacresearch.com/m3>

TPC. (02 de Abril de 2016). *About the TPC*. Obtenido de TPC:

<http://www.tpc.org/information/about/abouttpc.asp>

Vizard, M. (2012). *The Rise of In-Memory Databases*. Obtenido de

<http://slashdot.org/topic/datacenter/the-rise-of-in-memory-databases/>

Glosario

Benchmark

Punto de referencia derivado de la ejecución de un plan de pruebas mediante un resultado cuantitativo discreto.

BPS

Bytes por Segundo. Índice de transmisión de datos por unidad de tiempo en segundos. Mide la cantidad de datos que se transmiten desde el SABDRM al sistema de pruebas.

Enfoque positivista en la investigación

El enfoque positivista asume que es posible desarrollar una investigación libre de valores. En la concepción dialéctica del conocimiento tenemos que aceptar que los valores del investigador, del contexto particular en la que se realiza y de las teorías que la fundamentan, etc., tienen importancia y determinan los resultados.

La investigación positivista tiene un enfoque metodológico predominantemente cuantitativo. En el enfoque positivista se parte de teorías previamente seleccionadas de la cual se extraen, por un enfoque hipotético-deductivo, hipótesis que se desea contrastar en la investigación para confirmarlas o desecharlas. En la concepción dialéctica del conocimiento la teoría que se acepta en el marco de la investigación es la que tiene relación más directa con el tema investigado o la que se desprende de ello.

Ordenadores de Placas Reducidas

Es una computadora sin ranuras de expansión, con la mayoría de los componentes integrados directamente a la placa electrónica. Pertenecen al segmento de bajo costo y de aplicaciones domésticas.

SABDRM

Sistema de Administración de Bases de Datos Relacionales en Memoria, cualquier administrador de bases de datos relacional que ofrece la memoria principal como destino de los datos.

Taxonomía de Bloom Revisada

La Taxonomía de Bloom es un sistema de clasificación de habilidades, comprendido dentro de un marco teórico que busca facilitar la comunicación entre examinadores, promoviendo el intercambio de materiales de evaluación e ideas de cómo llevarla a cabo.

El proceso estuvo liderado por Benjamín Bloom, Doctor en Educación de la Universidad de Chicago (USA). Se formuló una Taxonomía de Dominios del Aprendizaje, desde entonces conocida como Taxonomía de Bloom, que puede entenderse como “Los Objetivos del Proceso de Aprendizaje”.

TPC

Transaction Processing Performance Council (TPC) es una organización que define el procesamiento de transacciones y datos de rendimiento verificables para la industria.

TPC-C

El TPC Benchmark C es un proceso (OLTP) prueba transaccional. TPC-C es más complejo que las pruebas anteriores para OLTP como TPC-A debido a sus múltiples tipos de transacción, una base de datos más compleja y la estructura general de la ejecución. TPC-C consiste en una mezcla de cinco transacciones simultáneas de diferentes tipos y complejidad, ya sea ejecutada en tiempo real o en cola.. La base de datos está compuesta por nueve tipos de tablas con una amplia gama de tamaños de discos y de población. TPC-C se mide en las transacciones por minuto (tpmC). TPC-C simula un entorno informático completo donde una población de usuarios ejecuta transacciones contra una base de datos. Estas operaciones incluyen la entrada y la entrega de pedidos, registro de pagos, comprobar el estado de sus pedidos y el seguimiento del nivel de existencias en los almacenes.

TPS

Transacciones por Segundo, cantidad de transacciones realizadas satisfactoriamente por segundo. Índice de desempeño principal en las pruebas de TPC-C.

Apéndices

1. Versiones y Parámetros de Instalación

A continuación, se muestra la información sobre versiones y variables de configuración para el software utilizado:

Sistemas operativos

Aplicación	Sistema Operativo	Versión	Kernel
Nodos	Lubuntu Server	14.04.4 LTS 64 bits	4.2.0
Agente de evaluación	Windows 7	64 bits SP1	--

Nodos

Nota: La instalación se realizó preliminarmente en un nodo. Posteriormente se utiliza el software Clonezilla para generar una imagen del sistema operativo y la configuración.

Pasos y opciones seleccionadas:

- Idioma: English
- Menú Principal: Install Ubuntu Server
- Idioma: English – English
- País: United States
- Configurar el teclado: English (US)
- Asegurarse que el cable de red está conectado al router. Configurar la red: p1p1 Realtek Semiconductor RTL8111

- Nombre de host: nodo#
- Usuario: nodo1
- Contraseña: nodos2015
- Encriptación: No
- Configuración de zona horaria: Si
- Partición de discos: Manual:
 - 2 GB Swap
 - 30 GB ext4 (/)

Agente de evaluación

Partición: Manual, única de 30 GB en NTFS

Drivers instalados: altibase-HDB-ODBC-6.3.1.6.8-WINDOWS-X86-64bit

MySQL Connector/ODBC 5.3-WINDOWS-x86-64bit

Bases de Datos

Desarrollador	Producto	Versión	Driver	Software Complementario
MySQL	Cluster	7.1 Linux x86-64 bit	MySQL Connector/ODBC 5.3-WINDOWS-x86-64bit	N/A
Altibase	HDB Community Edition	6.3.1 Linux x86-64 bit	altibase-HDB-ODBC- 6.3.1.6.8-WINDOWS-X86- 64bit	Replication Manager (Linux)

Instalación de Altibase

- Directorio de instalación: /opt/altibase-HDB-server-6.3.1 [enter]
- Nombre de instancia: repaltibase01
- Puerto de conexión: 20300
- Tamaño máximo para base de datos en memoria: 2G
- Buffer de disco: 128M
- Crear base de datos posterior a instalación: YES

- Tamaño inicial de las bases de datos: 10M
- Modo de archive logging para la BD: no logging
- Character set: utf-8
- National character set: utf-8
- Base de datos en disco: /opt/altibase-HDB-server-6.3.1/dbs
- Directorio para base de datos en memoria: /opt/altibase-HDB-server-6.3.1/dbs
- Directorio para logs: /opt/altibase-HDB-server-6.3.1/arch_logs
- Directorio para logs transaccionales: /opt/altibase-HDB-server-6.3.1/logs
- Directorio para logs por defecto: /opt/altibase-HDB-server-6.3.1/logs
- Edición: Community

2. Configuración

Configuración estática de red en nodos

```
auto lo
iface lo inet loopback

iface eth0 inet static
address 192.168.0.101
gateway 192.168.0.1
netmask 255.255.255.0
dns-nameservers 8.8.8.8 8.8.4.4
```

Configuración de Altibase

Pre-instalación

- Modificar parámetros de memoria
 - `Echo 512 32000 512 512 > /proc/sys/kernel/sem`
 - `Echo 872415232 > /proc/sys/kernel/shmall`
 - `source /root/.profile`

Post instalación

- `/opt/altibase-HDB-server-6.3.1/install/post_install.sh setenv`
- `source /root/.profile`

Inicio de servicio

- `isql -s localhost -u sys -p manager -sysdba`
- `startup service`
- `shutdown normal`

Creación de Tablespace

- `mkdir /opt/altibase-HDB-server-6.3.1/data/`
- `isql -s 127.0.0.1 -u SYS -p MANAGER -sysdba`
- `CREATE MEMORY DATA TABLESPACE test_01 SIZE 128M AUTOEXTEND ON MAXSIZE 2G CHECKPOINT PATH '/opt/altibase-HDB-server-6.3.1/data';`

Creación de tablas en Altibase

```

CREATE TABLE
C_Warehouse (
    w_id INTEGER NULL,
    w_name CHAR(10)
NULL,
    w_street_1 CHAR(20)
NULL,
    w_street_2 CHAR(20)
NULL,
    w_city CHAR(20)
NULL,
    w_state CHAR(2)
NULL,
    w_zip CHAR(9) NULL,
    w_tax FLOAT NULL,
    w_ytd FLOAT NULL,
    PRIMARY KEY (w_id)
) tablespace test_01;

CREATE TABLE
C_District(
    d_id INTEGER NULL,
    d_w_id INTEGER
NULL,
    d_name CHAR(10)
NULL,
    d_street_1 CHAR(20)
NULL,
    d_street_2 CHAR(20)
NULL,
    d_city CHAR(20)
NULL,
    d_state CHAR(2)
NULL,
    d_zip CHAR(9) NULL,
    d_tax FLOAT NULL,
    d_ytd FLOAT NULL,
    d_next_o_id INTEGER
NULL,
    PRIMARY KEY (d_w_id,
d_id)
) tablespace test_01;

CREATE TABLE
C_Customer (
    c_id INTEGER NULL,
    c_d_id INTEGER NULL,
    c_w_id INTEGER
NULL,
    c_first CHAR(16) NULL,
    c_middle CHAR(2)
NULL,
    c_last CHAR(16) NULL,
    c_street_1 CHAR(20)
NULL,
    c_street_2 CHAR(20)
NULL,
    c_city CHAR(20) NULL,
    c_state CHAR(2)
NULL,
    c_zip CHAR(9) NULL,
    c_phone CHAR(16)
NULL,
    c_since DATE NULL,
    c_credit CHAR(2)
NULL,
    c_credit_lim FLOAT
NULL,
    c_discount FLOAT
NULL,
    c_balance FLOAT
NULL,
    c_ytd_payment FLOAT
NULL,
    c_payment_cnt
INTEGER NULL,
    c_delivery_cnt
INTEGER NULL,
    c_data1 CHAR(250)
NULL,
    c_data2 CHAR(250)
NULL,
    PRIMARY KEY (c_w_id,
c_d_id, c_id)
) tablespace test_01;

CREATE TABLE
C_History (
    h_c_id INTEGER NULL,
    h_c_d_id INTEGER
NULL,
    h_c_w_id INTEGER
NULL,
    h_d_id INTEGER NULL,
    h_w_id INTEGER
NULL,
    h_date DATE NULL,
    h_amount FLOAT
NULL,
    h_data CHAR(24)
NULL,
    PRIMARY KEY
(h_c_id,h_c_d_id,
h_c_w_id,h_d_id,h_w_id,h_date)
) tablespace test_01;

CREATE TABLE
C_New_Order (
    no_o_id INTEGER
NULL,
    no_d_id INTEGER
NULL,
    no_w_id INTEGER
NULL,
    PRIMARY KEY
(no_w_id, no_d_id, no_o_id)
) tablespace test_01;

```

```

CREATE TABLE C_Order (
o_id INTEGER NULL,
o_d_id INTEGER NULL,
o_w_id INTEGER NULL,
o_c_id INTEGER NULL,
o_entry_d DATE NULL,
o_carrier_id INTEGER NULL,
o_ol_cnt INTEGER NULL,
o_all_local INTEGER NULL,
PRIMARY KEY (o_w_id, o_d_id, o_id)
) tablespace test_01;

CREATE TABLE C_Order_Line (
ol_o_id INTEGER NULL,
ol_d_id INTEGER NULL,
ol_w_id INTEGER NULL,
ol_number INTEGER NULL,
ol_i_id INTEGER NULL,
ol_supply_w_id INTEGER NULL,
ol_delivery_d DATE NULL,
ol_quantity INTEGER NULL,
ol_amount FLOAT NULL,
ol_dist_info CHAR(24) NULL,
PRIMARY KEY (ol_w_id, ol_d_id, ol_o_id,
ol_number)
) tablespace test_01;

;

```

```

CREATE TABLE C_Item (
i_id INTEGER NULL,
i_im_id INTEGER NULL,
i_name CHAR(24) NULL,
i_price FLOAT NULL,
i_data CHAR(50) NULL,
PRIMARY KEY (i_id,i_im_id)
) tablespace test_01;

CREATE TABLE C_Stock (
s_i_id INTEGER NULL,
s_w_id INTEGER NULL,
s_quantity INTEGER NULL,
s_dist_01 CHAR(24) NULL,
s_dist_02 CHAR(24) NULL,
s_dist_03 CHAR(24) NULL,
s_dist_04 CHAR(24) NULL,
s_dist_05 CHAR(24) NULL,
s_dist_06 CHAR(24) NULL,
s_dist_07 CHAR(24) NULL,
s_dist_08 CHAR(24) NULL,
s_dist_09 CHAR(24) NULL,
s_dist_10 CHAR(24) NULL,
s_ytd INTEGER NULL,
s_order_cnt INTEGER NULL,
s_remote_cnt INTEGER NULL,
s_data CHAR(50) NULL,
PRIMARY KEY (s_i_id,s_w_id)
) tablespace test_01

```

Replicación en Altibase

Nodo 1 (Master)

```
REPLICATION_PORT_NO =  
21300  
  
CREATE EAGER REPLICATION  
tpcc_rep1 AS MASTER  
  WITH '192.168.0.111',22300  
  FROM SYS.C_Warehouse TO  
  SYS.C_Warehouse,  
  FROM SYS.C_District TO  
  SYS.C_District,  
  FROM SYS.C_History TO  
  SYS.C_History,  
  FROM SYS.C_Customer TO  
  SYS.C_Customer,  
  FROM SYS.C_New_Order TO  
  SYS.C_New_Order,  
  FROM SYS.C_Item TO  
  SYS.C_Item,  
  FROM SYS.C_Order_Line TO  
  SYS.C_Order_Line,  
  FROM SYS.C_Order TO  
  SYS.C_Order,  
  FROM SYS.C_Stock TO  
  SYS.C_Stock;
```

Nodo 2 (Slave)

```
REPLICATION_PORT_NO =  
22300  
  
CREATE EAGER REPLICATION  
tpcc_rep1 AS SLAVE  
  WITH '192.168.0.110',21300  
  FROM SYS.C_Warehouse TO  
  SYS.C_Warehouse,  
  FROM SYS.C_District TO  
  SYS.C_District,  
  FROM SYS.C_History TO  
  SYS.C_History,  
  FROM SYS.C_Customer TO  
  SYS.C_Customer,  
  FROM SYS.C_New_Order TO  
  SYS.C_New_Order,  
  FROM SYS.C_Item TO  
  SYS.C_Item,  
  FROM SYS.C_Order_Line TO  
  SYS.C_Order_Line,  
  FROM SYS.C_Order TO  
  SYS.C_Order,  
  FROM SYS.C_Stock TO  
  SYS.C_Stock
```

3. MySQL Cluster

Configuración estática de red en nodos

Editar el archivo /etc/network/interfaces

```
auto lo
iface lo inet loopback
auto wlan0
iface wlan0 inet static
address 192.168.1.150
netmask 255.255.255.0
gateway 192.168.1.1
wpa-ssid <Red>
wpa-psk <Clave>
dns-nameservers 8.8.8.8 192.168.1.1
```

Ejecutar los siguientes comandos

```
Sudo ifdown wlan0
Sudo ifup -v wlan0
```

Confirmar que el Sistema tiene conexión mediante

```
ping -c3 www.google.com
```

Instalación de MySQL cluster en los servidores o nodos

Para instalar los paquetes de MySQL se ejecutan los siguientes comandos:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
sudo apt-get install software-properties-common
sudo apt-get install libaio1 libaio-dev
root@db0:~# cd /usr/local/
root@db0:/usr/local# wget -q http://dev.mysql.com/get/Downloads/MySQL-
Cluster-7.1/mysql-cluster-gpl-7.1.10-linux-x86_64-
glibc23.tar.gz/from/http://mirror.switch.ch/ftp/mirror/mysql/
root@db0:/usr/local# mv index.html mysql-cluster-gpl-7.1.10-linux-x86_64-
glibc23.tar.gz
root@db0:/usr/local# tar -xzf mysql-cluster-gpl-7.1.10-linux-x86_64-glibc23.tar.gz
root@db0:/usr/local# rm -f mysql-cluster-gpl-7.1.10-linux-x86_64-glibc23.tar.gz
root@db0:/usr/local# ln -s mysql-cluster-gpl-7.1.10-linux-x86_64-glibc23 mysql
root@db0:/usr/local# cd mysql
root@db0:/usr/local/mysql# mkdir /opt/oracle/disk/mysql_cluster
root@db0:/usr/local/mysql# mkdir /opt/oracle/disk/mysql_cluster/mysqlld_data
root@db0:/usr/local/mysql# groupadd mysql
```

```

root@db0:/usr/local/mysql# useradd -g mysql mysql
root@db0:/usr/local/mysql# chown mysql:root
/opt/oracle/disk/mysql_cluster/mysqlld_data
root@db0:/usr/local/mysql# scripts/mysql_install_db --user=mysql --no-defaults --
datadir=/opt/oracle/disk/mysql_cluster/mysqlld_data/
root@db0:/usr/local/mysql# cp support-files/mysql.server /etc/init.d/
root@db0:/usr/local/mysql# chmod +x /etc/init.d/mysql.server
root@db0:/usr/local/mysql# update-rc.d mysql.server defaults
Repetir estos pasos en el otro servidor.

```

Editar el archivo /etc/my.cnf con la siguiente información

```

[mysqld]
basedir=/usr/local/mysql
datadir=/opt/oracle/disk/mysql_cluster/mysqlld_data
event_scheduler=on
default-storage-engine=ndbcluster
ndbcluster
ndb-connectstring=192.168.160.135,192.168.160.136 # IP/host of the NDB_MGMD-
nodes

key_buffer = 512M
key_buffer_size = 512M
sort_buffer_size = 512M
read_buffer_size = 512M
innodb_buffer_pool_size = 20M
[mysql_cluster]
ndb-connectstring=192.168.160.135,192.168.160.136 # IP/host of the NDB_MGMD-
nodes

```

Se repite en el otro servidor.

Procedemos a preparar el manejo de los nodos

```

root@db0:~# cd /usr/local/mysql
root@db0:/usr/local/mysql# chmod +x bin/ndb_mgm*
root@db0:/usr/local/mysql# mkdir /var/lib/mysql-cluster
root@db0:/usr/local/mysql# vi /var/lib/mysql-cluster/config.ini

```

Editamos el archivo config.ini de la siguiente manera

```

[NDBD DEFAULT]
NoOfReplicas=2
DataDir=/var/lib/mysql-cluster
DataMemory=600M
IndexMemory=70M
MaxNoOfTables=4096

MaxNoOfConcurrentTransactions=18900

```

```
[MYSQLD DEFAULT]
[NDB_MGMD DEFAULT]
[TCP DEFAULT]
```

2 Managment Servers

```
[NDB_MGMD]
HostName=192.168.160.135 # IP/host of first NDB_MGMD-node
NodeId=1
```

```
[NDB_MGMD]
HostName=192.168.160.136 # IP/host of second NDB_MGMD-node
NodeId=2
```

2 Storage Engines

```
[NDBD]
HostName=192.168.160.135 # IP/host of first NDBD-node
NodeId=3
[NDBD]
HostName=192.168.160.136 # IP/host of second NDBD-node
NodeId=4
```

2 MySQL Clients

Lave this blank to allow rapid changes of the mysql clients.

```
[MYSQLD]
[MYSQLD]
```

Ahora se inicia el manejador de los nodos

```
root@db0:/usr/local/mysql/bin# ndb_mgmd -f /var/lib/mysql-cluster/config.ini --
initial --config-dir=/var/lib/mysql-cluster/
```

Se repite el paso en el otro nodo

Ahora se finaliza la instalación y configuración

```
root@db0:/usr/local/mysql# mkdir /var/lib/mysql-cluster
root@db0:/usr/local/mysql# cd /var/lib/mysql-cluster
root@db0:/var/lib/mysql-cluster# /usr/local/mysql/bin/ndbd --initial
root@db0:/var/lib/mysql-cluster# /etc/init.d/mysql.server start
```

Comprobar el control de los nodos con el comando

```
/usr/local/mysql/bin/ndb_mgm -e show
```

Comprobar la conexión al servidor con el comando

```
/usr/local/mysql/bin/mysql -h 127.0.0.1 -P3306 -uroot
```

Permitir conexiones remotas al servidor

En la base de datos

```
GRANT ALL PRIVILEGES ON *.* TO 'root'@'192.168.%.%' IDENTIFIED BY 'my-  
new-password' WITH GRANT OPTION;  
  
FLUSH PRIVILEGES;
```

4. Resultados experimentales

Pruebas con conjunto de datos de tamaño 256MB

Escenario 1. SOLO 1 NODO

Variación 1: Sin configuración tolerante a fallos o replicación

Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5

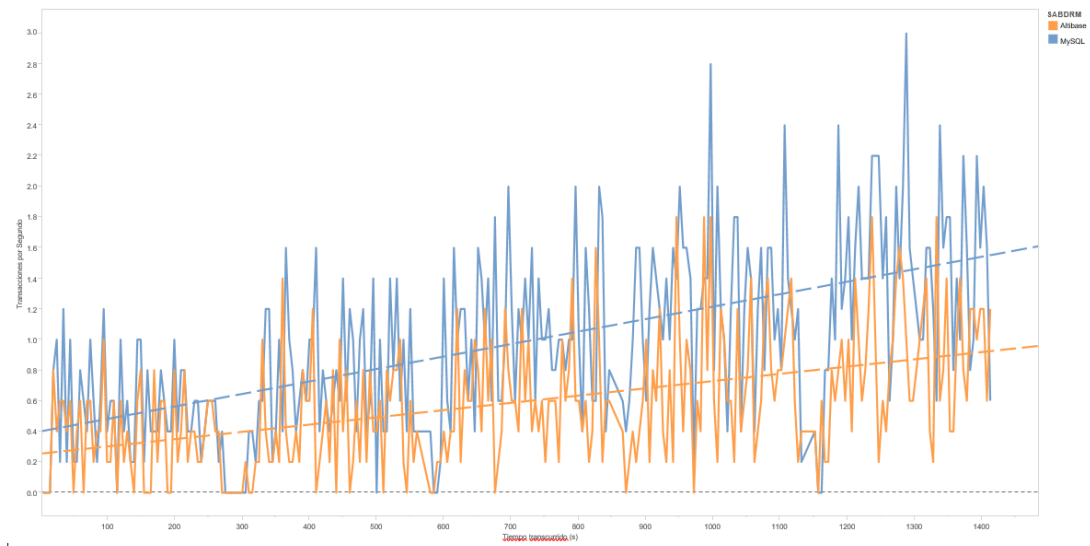


Figura 29 Promedio de Transacciones por Segundo para escenario 1, variación 1 y prueba 1

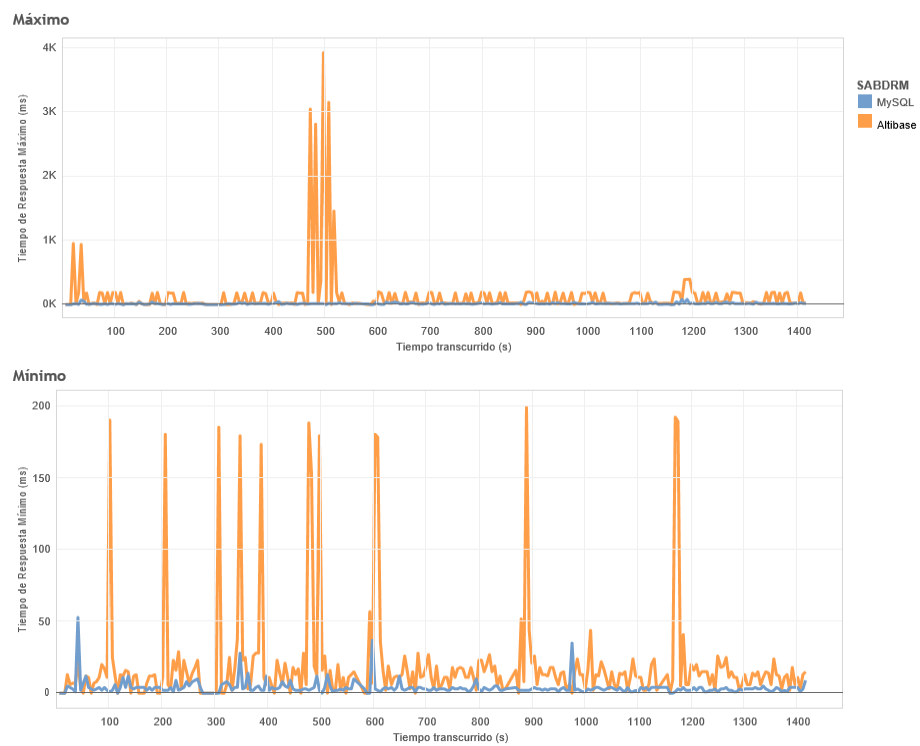


Figura 30 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para escenario 1, variación 1 y prueba 1

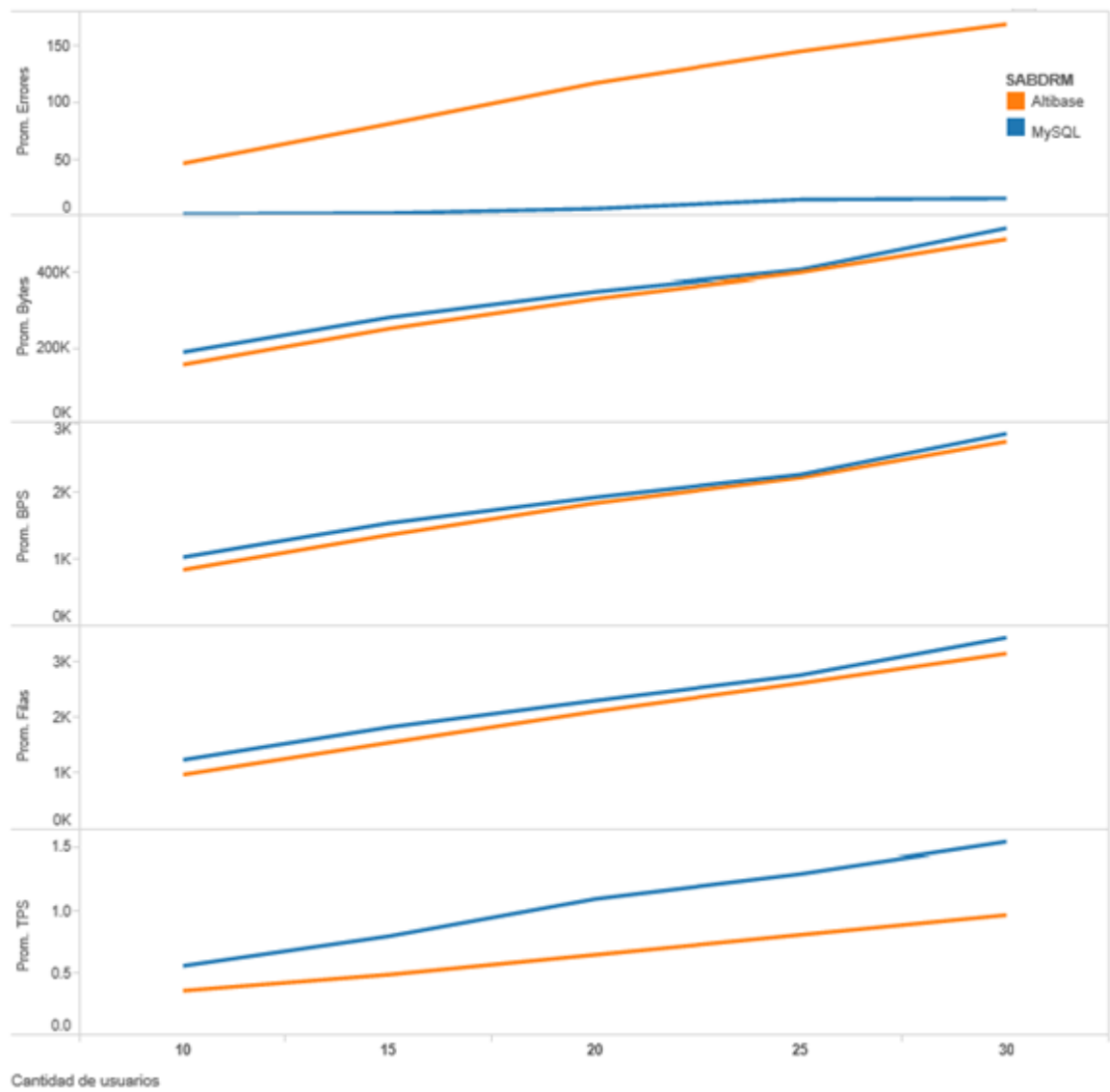


Figura 31 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para escenario 1, variación 1 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 20

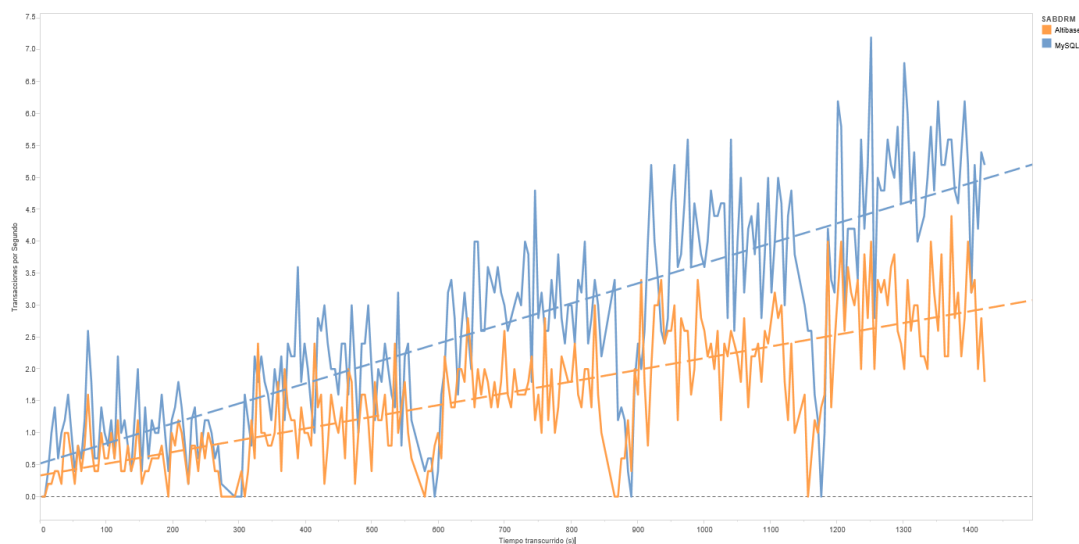


Figura 32 Promedio de Transacciones por Segundo para escenario 1, variación 1 y prueba 2



Figura 33 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para escenario 1, variación 1 y prueba 2

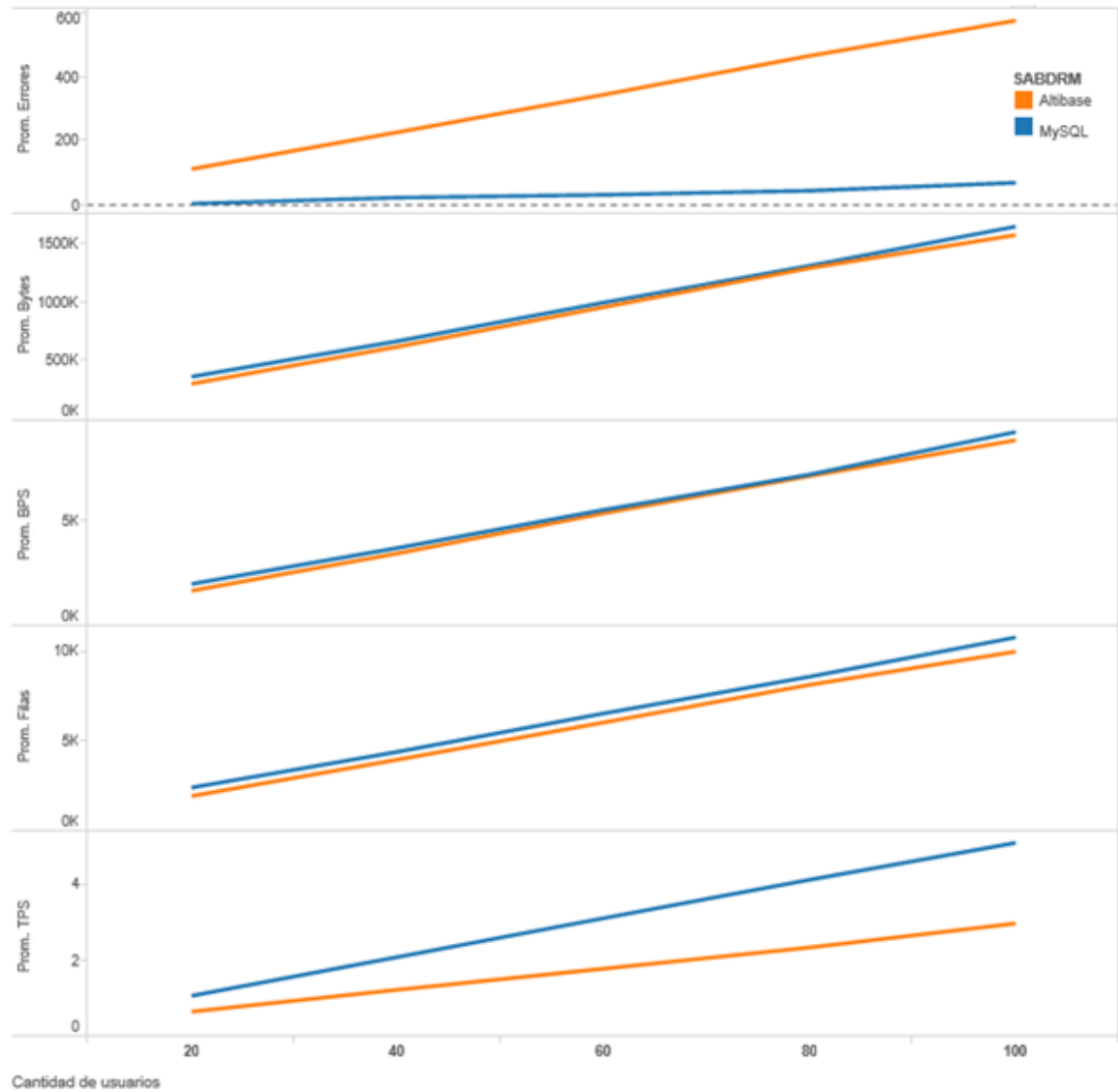


Figura 34 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para escenario 1, variación 1 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

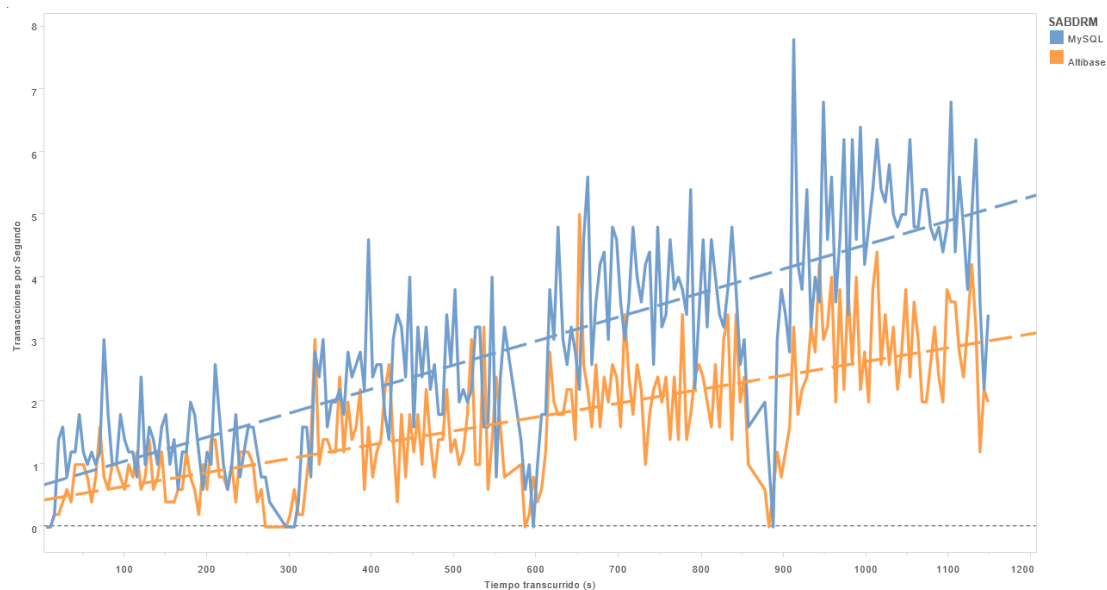


Figura 35 Promedio de Transacciones por Segundo para escenario 1, variación 1 y prueba 3

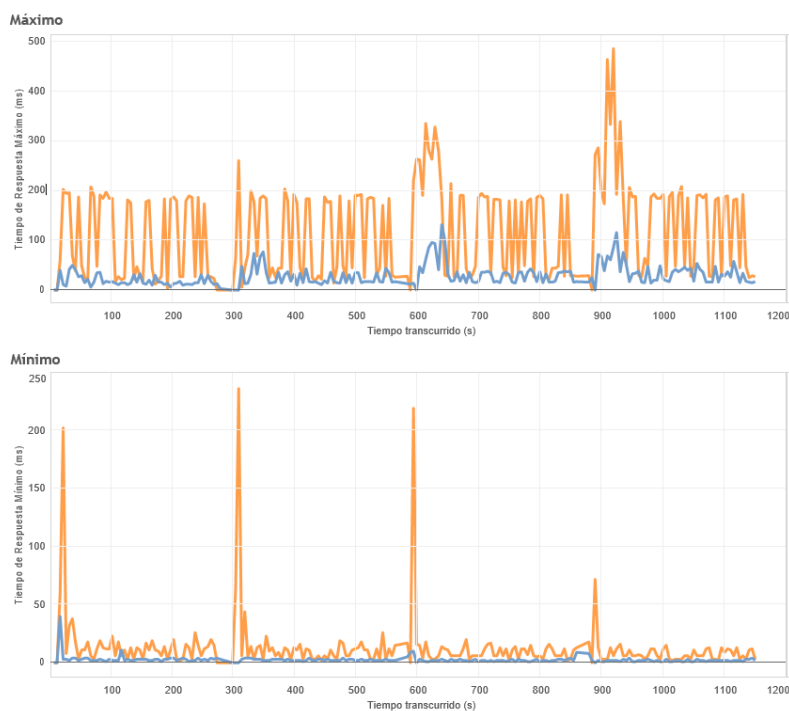


Figura 36 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para escenario 1, variación 1 y prueba 3

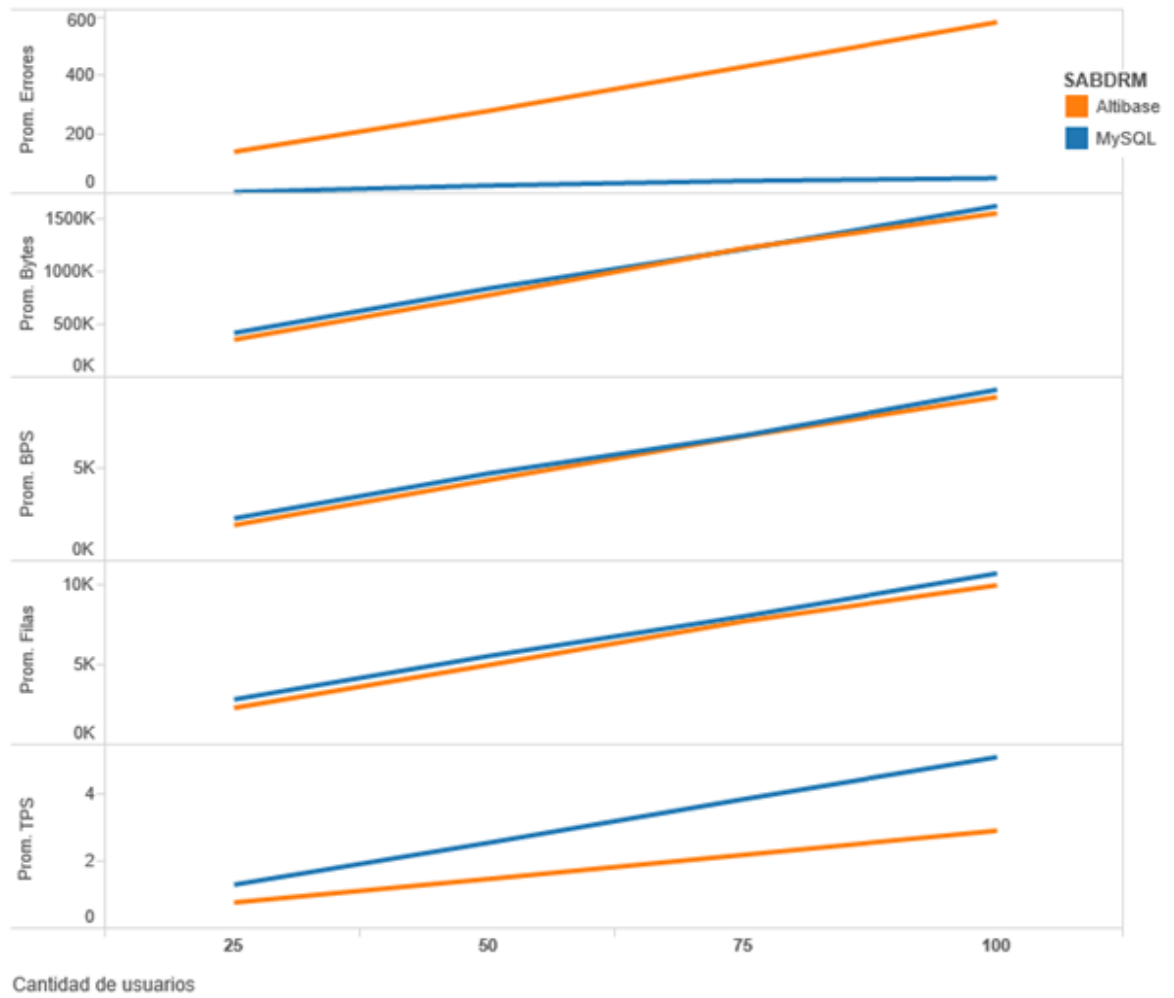


Figura 37 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para escenario 1, variación 1 y prueba 3

Variación 2: Configuración tolerante a fallos con solo el nodo 2

Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5

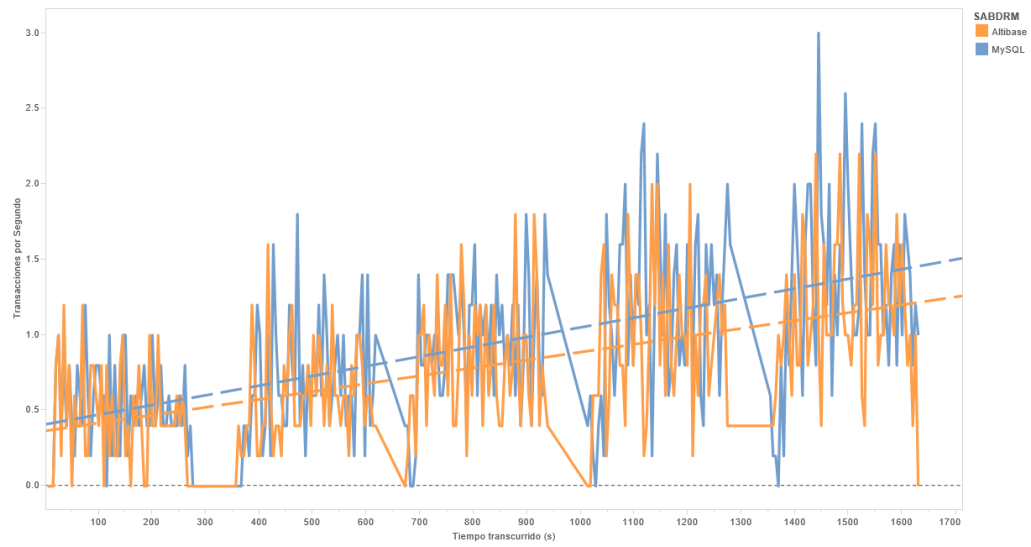


Figura 38 Promedio de Transacciones por Segundo para escenario 1, variación 2 y prueba 1

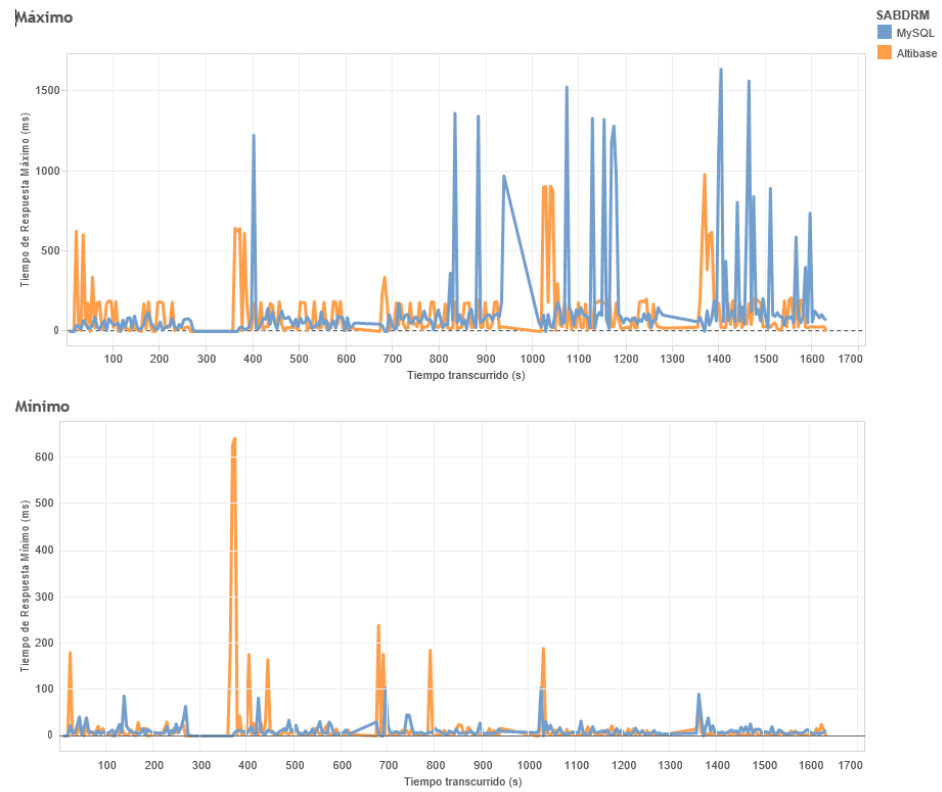


Figura 39. Tiempos de respuesta máximos y mínimos para escenario 1, variación 2 y prueba 1

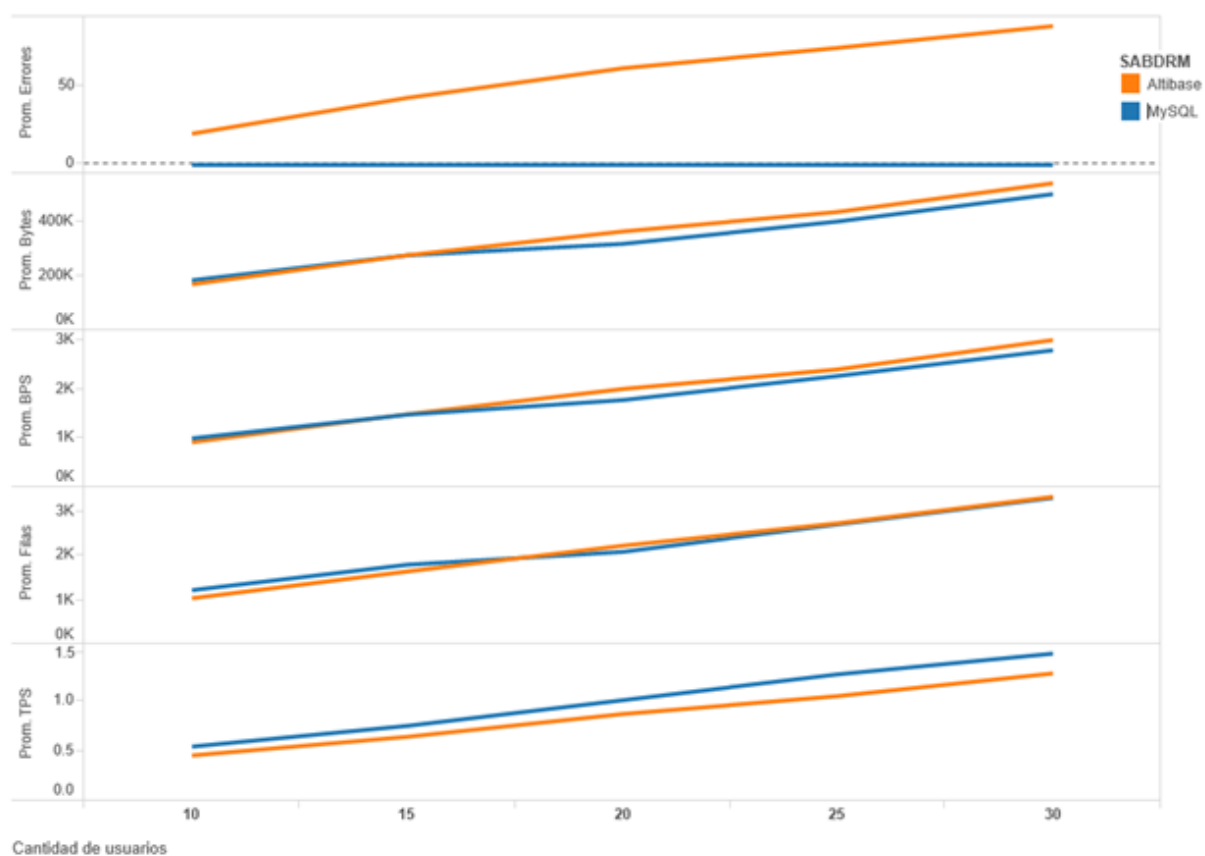


Figura 40 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para escenario 1, variación 2 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 20

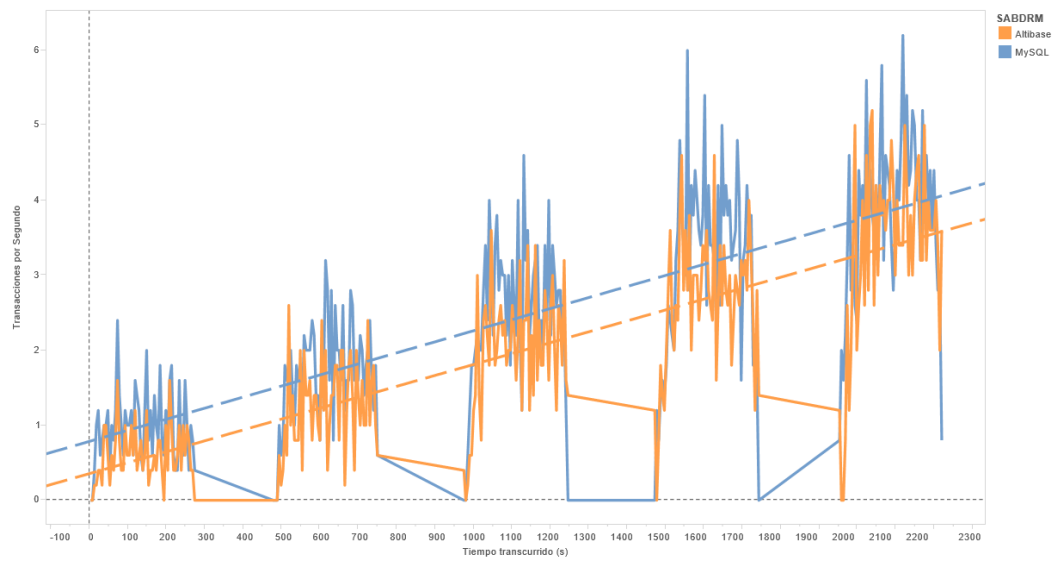


Figura 41 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 2

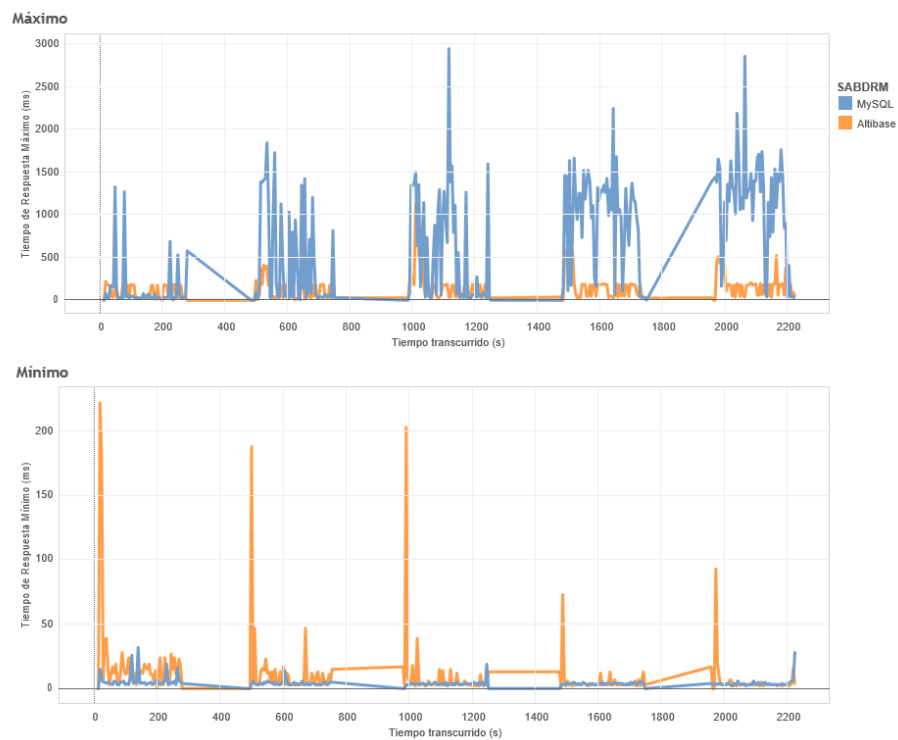


Figura 42 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 2

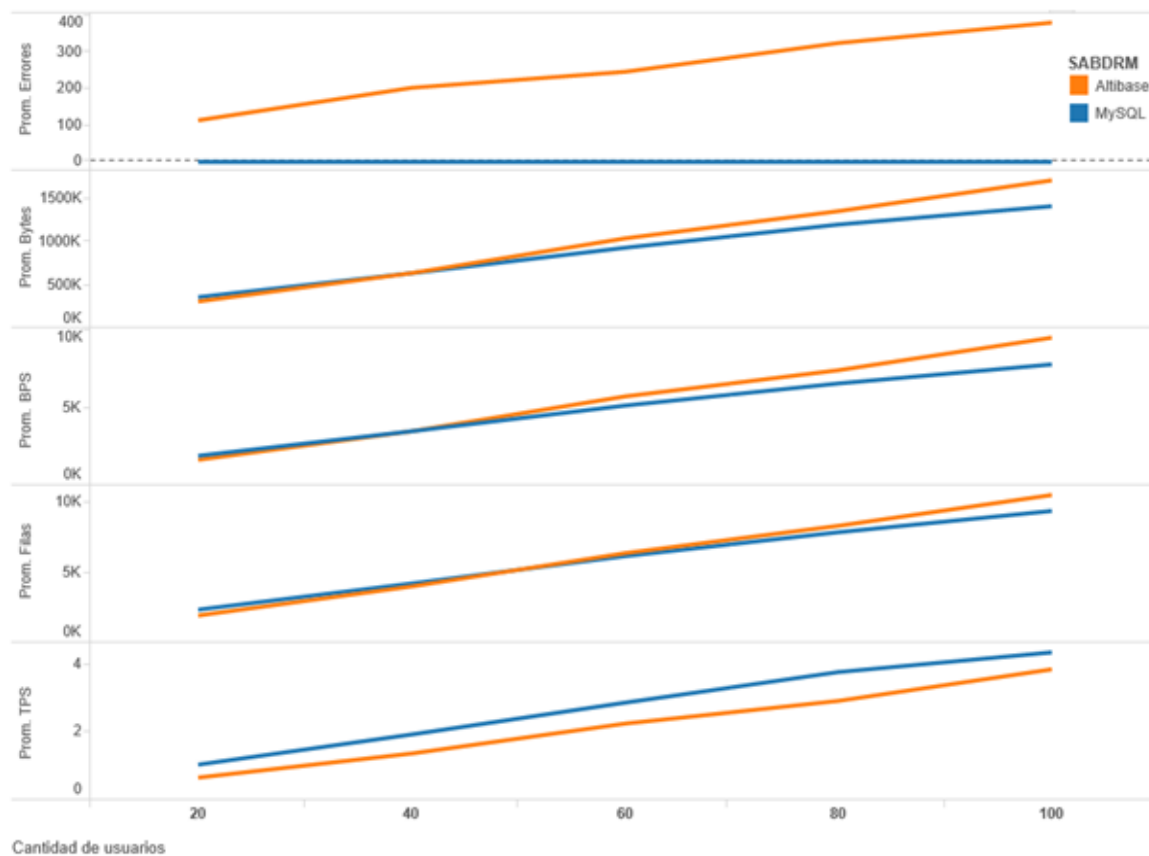


Figura 43 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 2 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

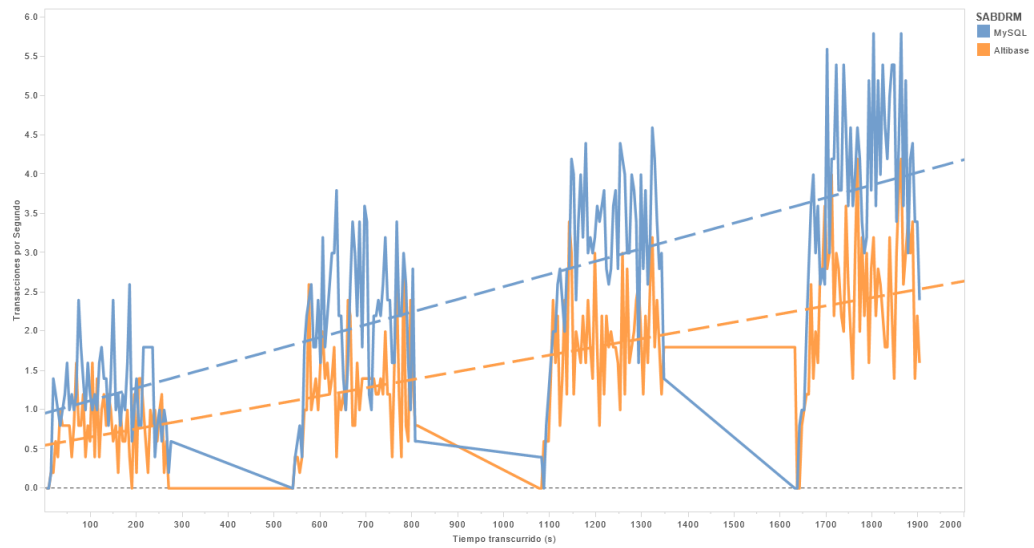


Figura 44 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 3

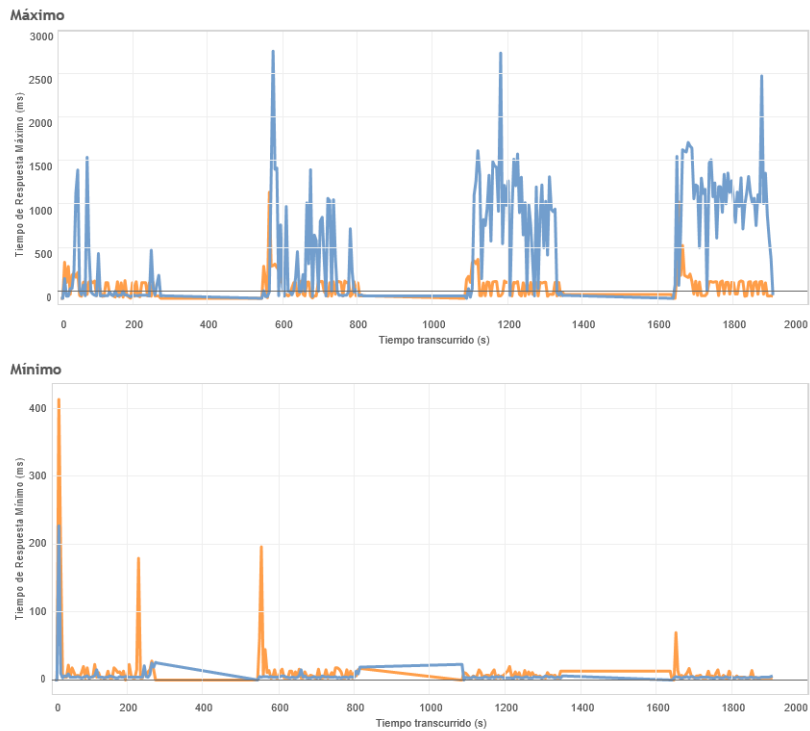


Figura 45 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 3

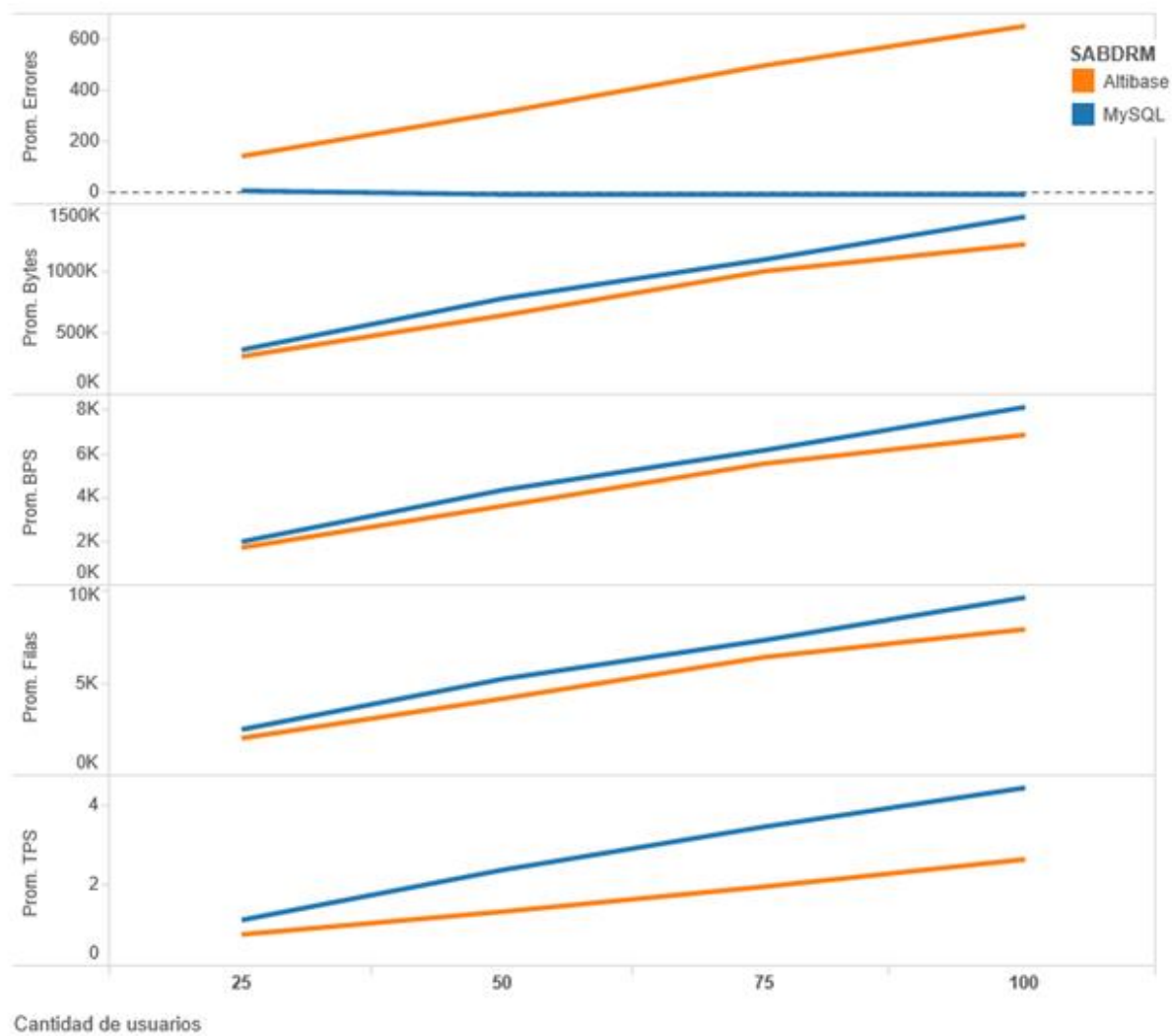


Figura 46 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 2 y prueba 3

Variación 3: Configuración tolerante a fallos con solo el nodo 1

Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5

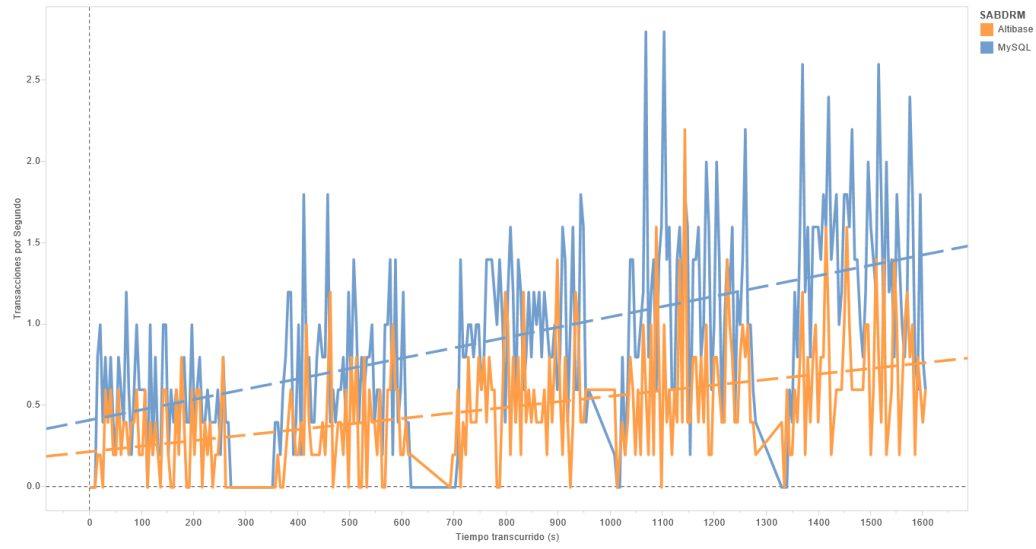


Figura 47 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 1

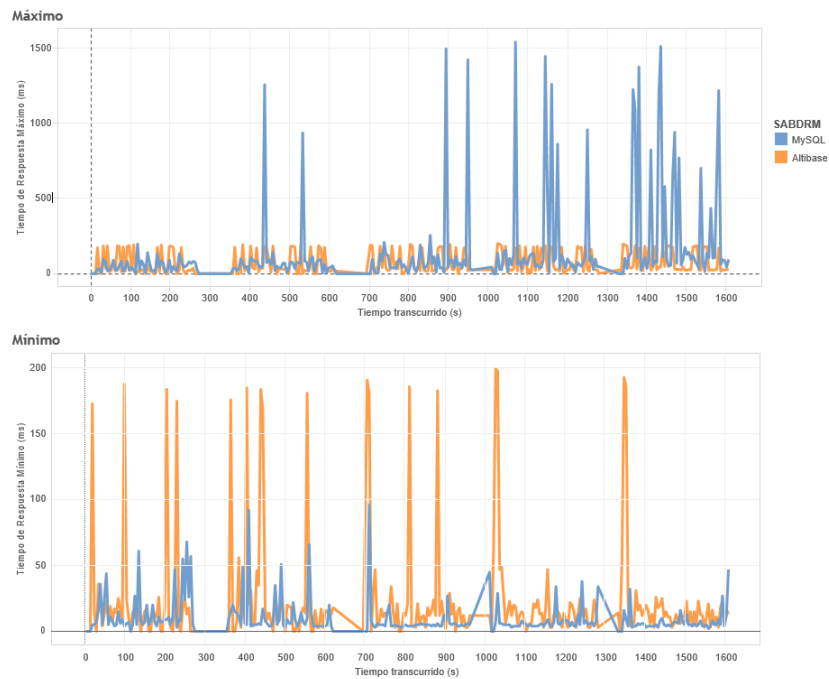


Figura 48 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 1

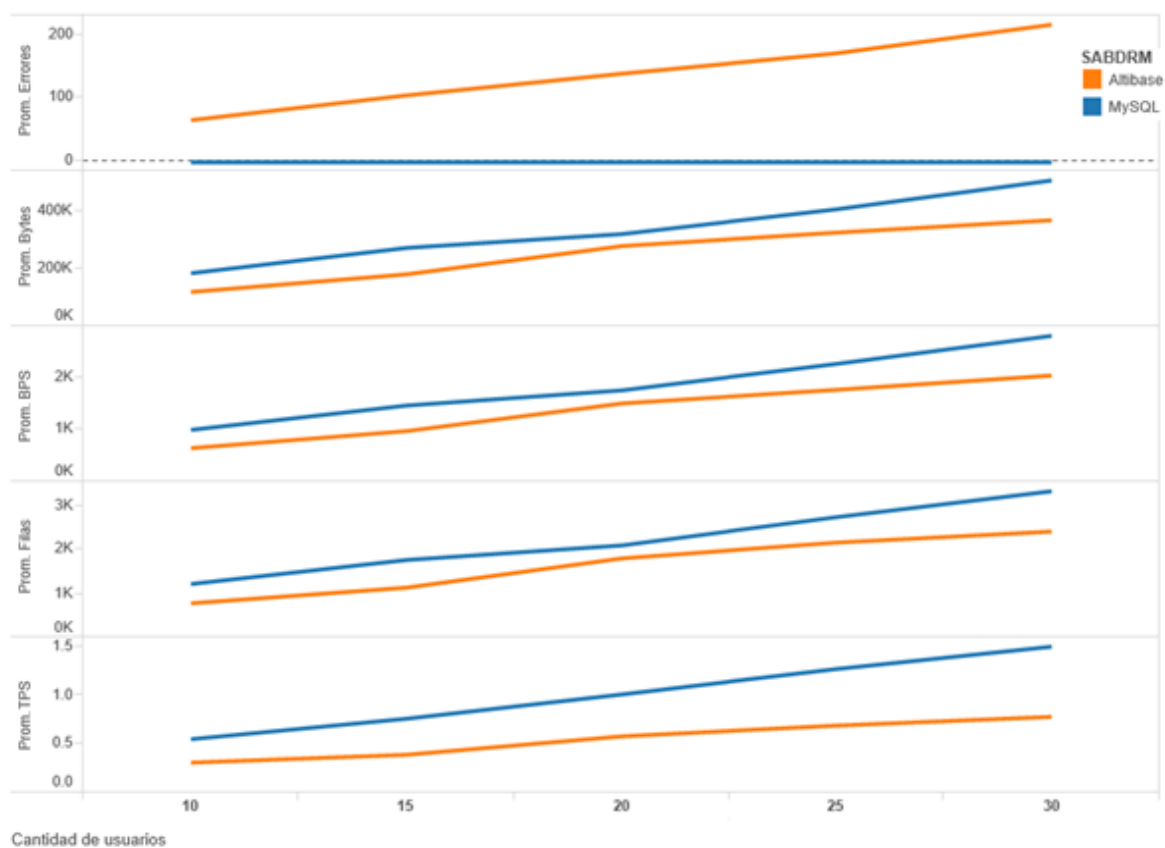


Figura 49 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 3 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 20.

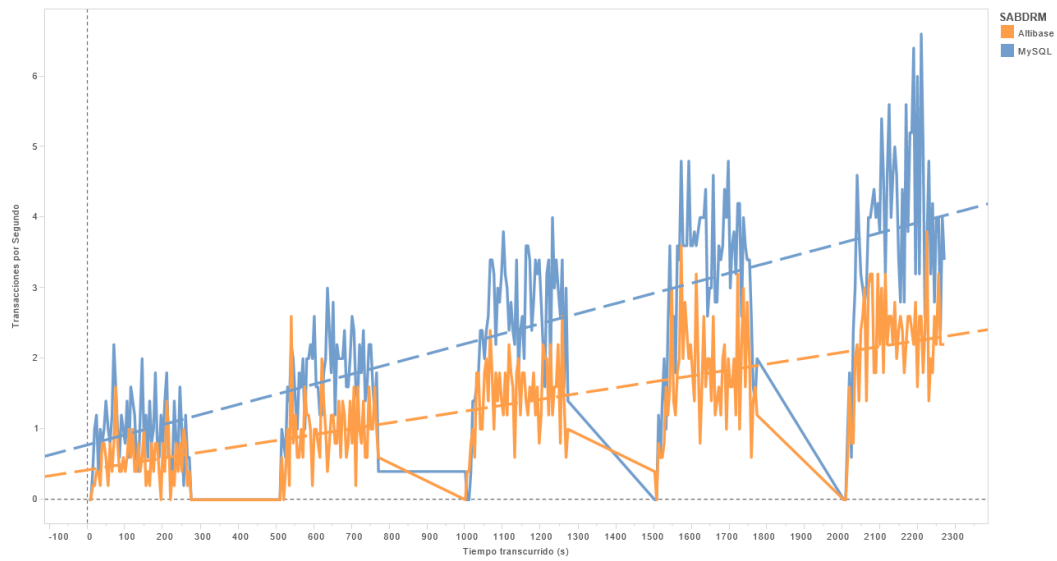


Figura 50 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 2

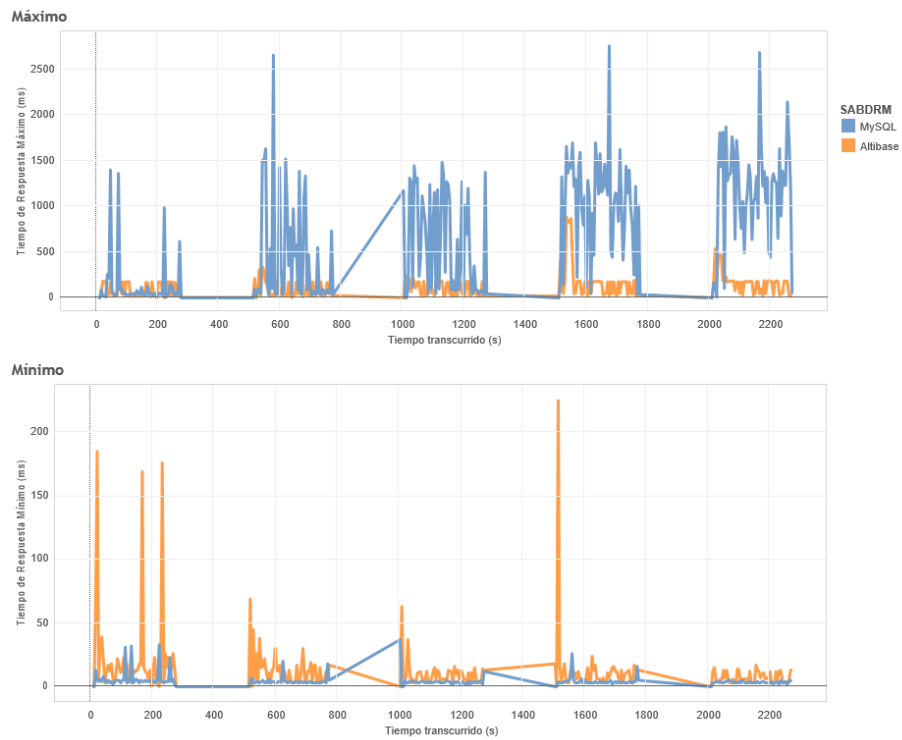


Figura 51 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 2

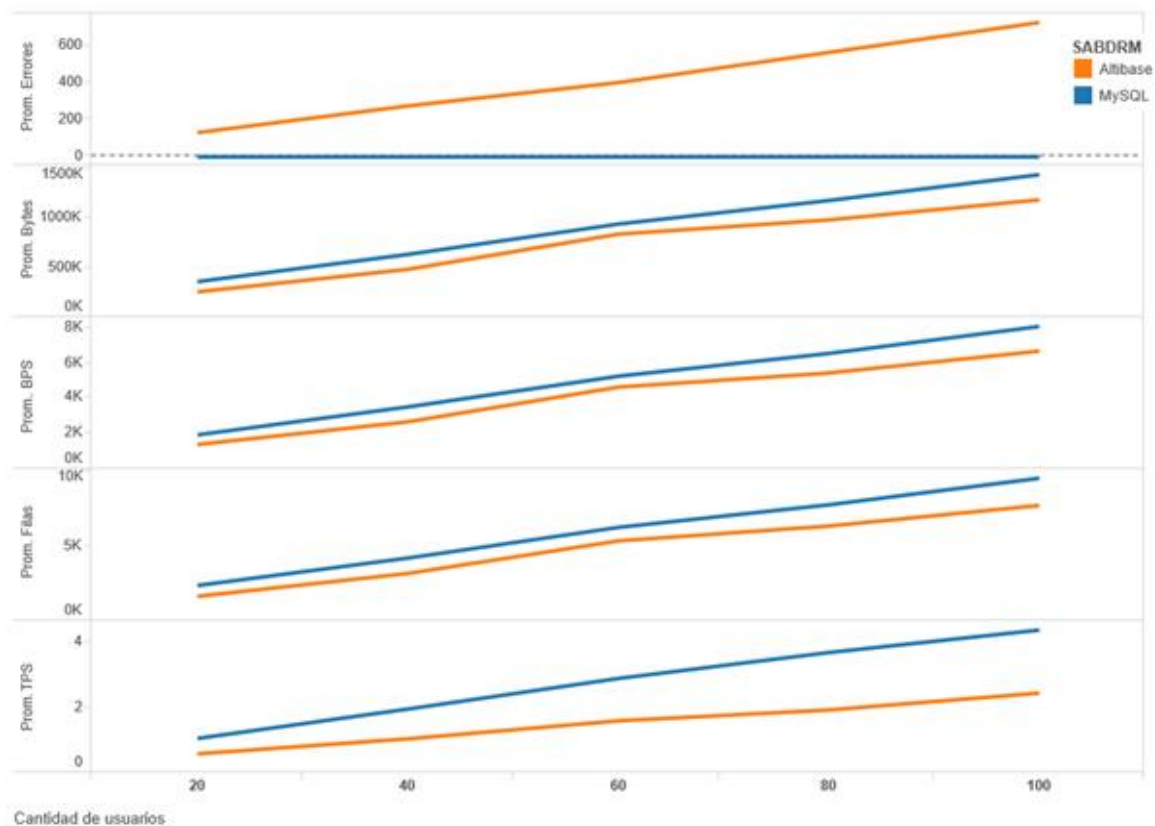


Figura 52 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 3 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

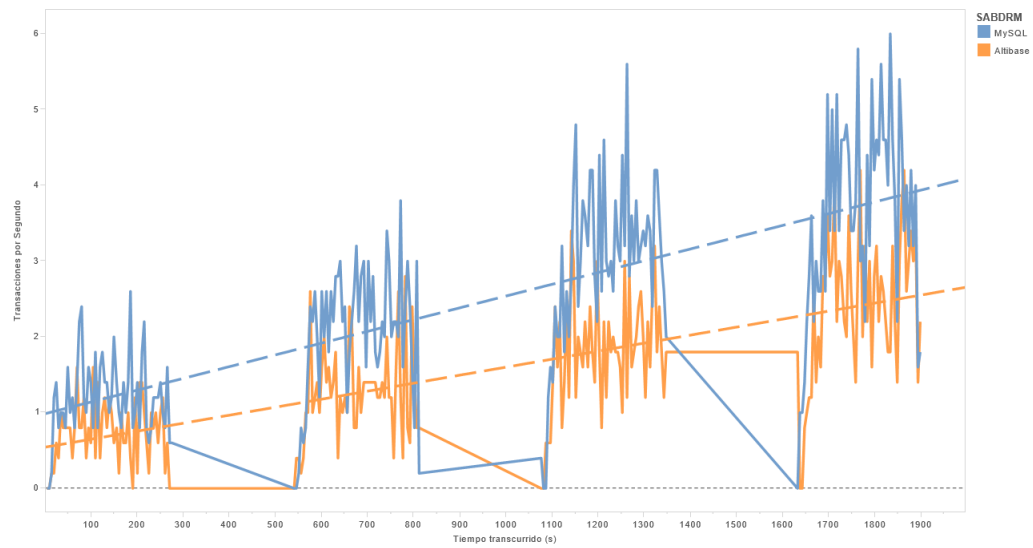


Figura 53 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 3

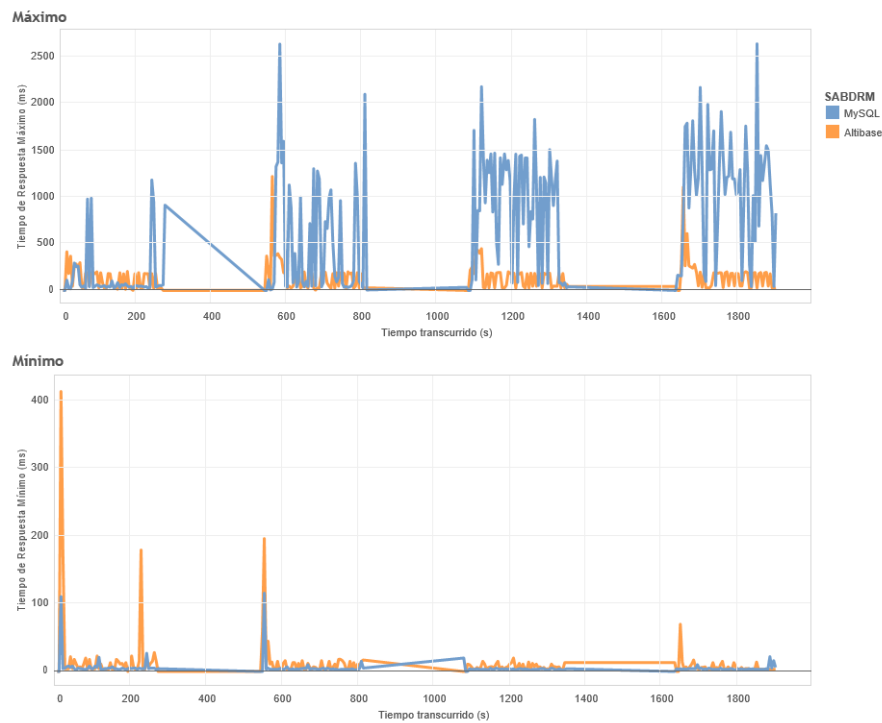


Figura 54 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 3

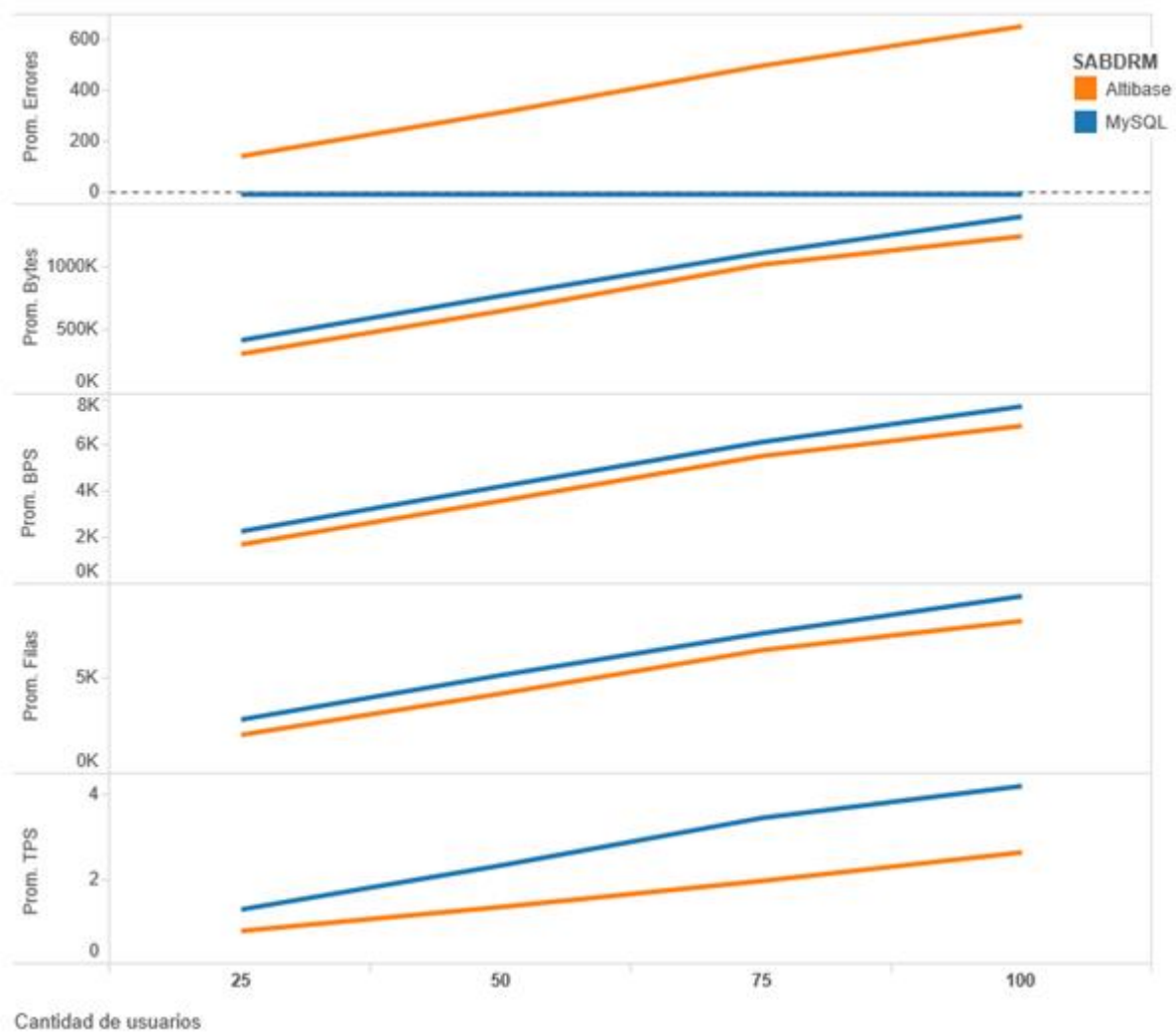


Figura 55 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1, variación 3 y prueba 3

Escenario 2. 2 NODOS

Variación 1: Configuración tolerante a fallos

Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5

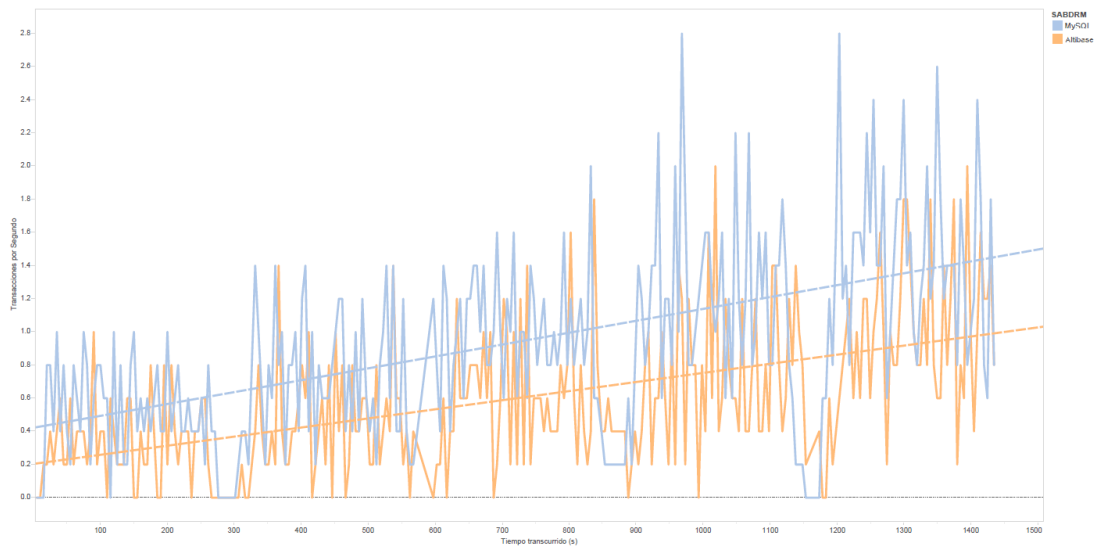


Figura 56 . Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 1 y prueba 1

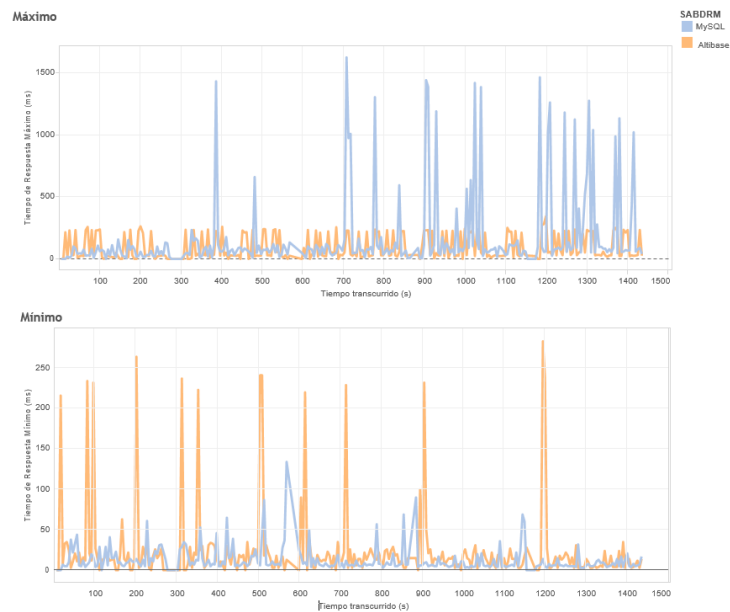


Figura 57 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 1 y prueba 1

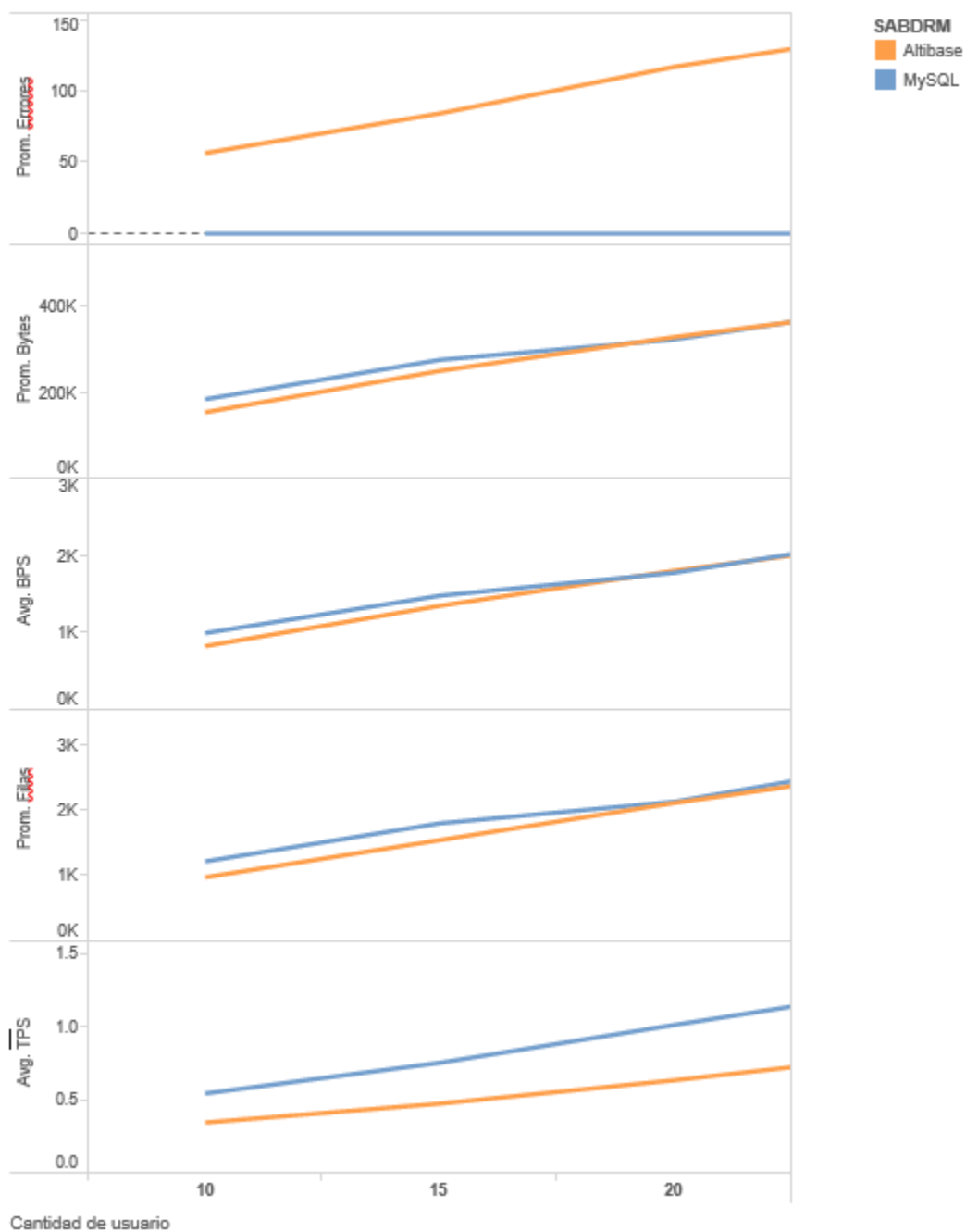


Figura 58 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 1 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 20

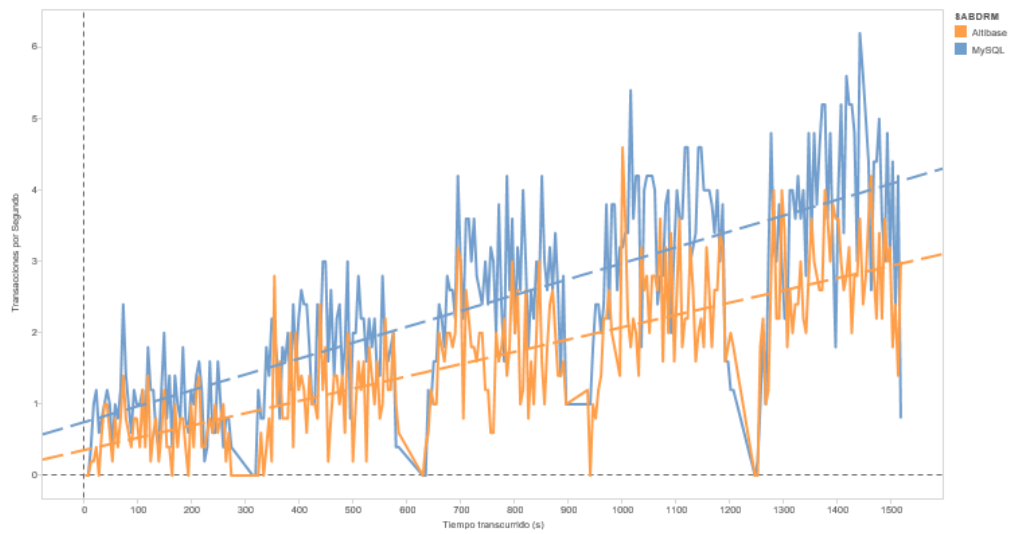


Figura 59 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 1 y prueba 2

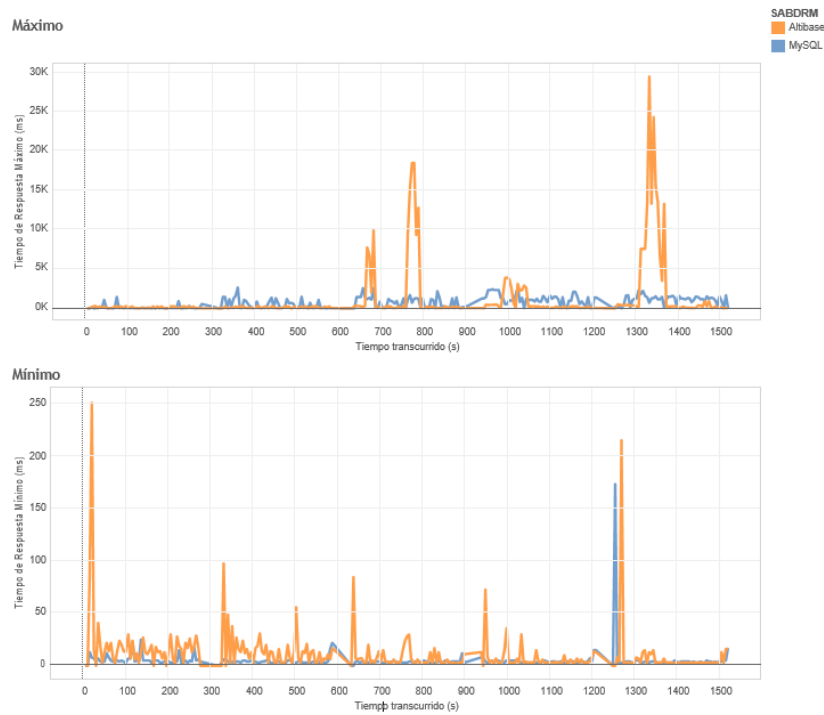


Figura 60 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 1 y prueba 2

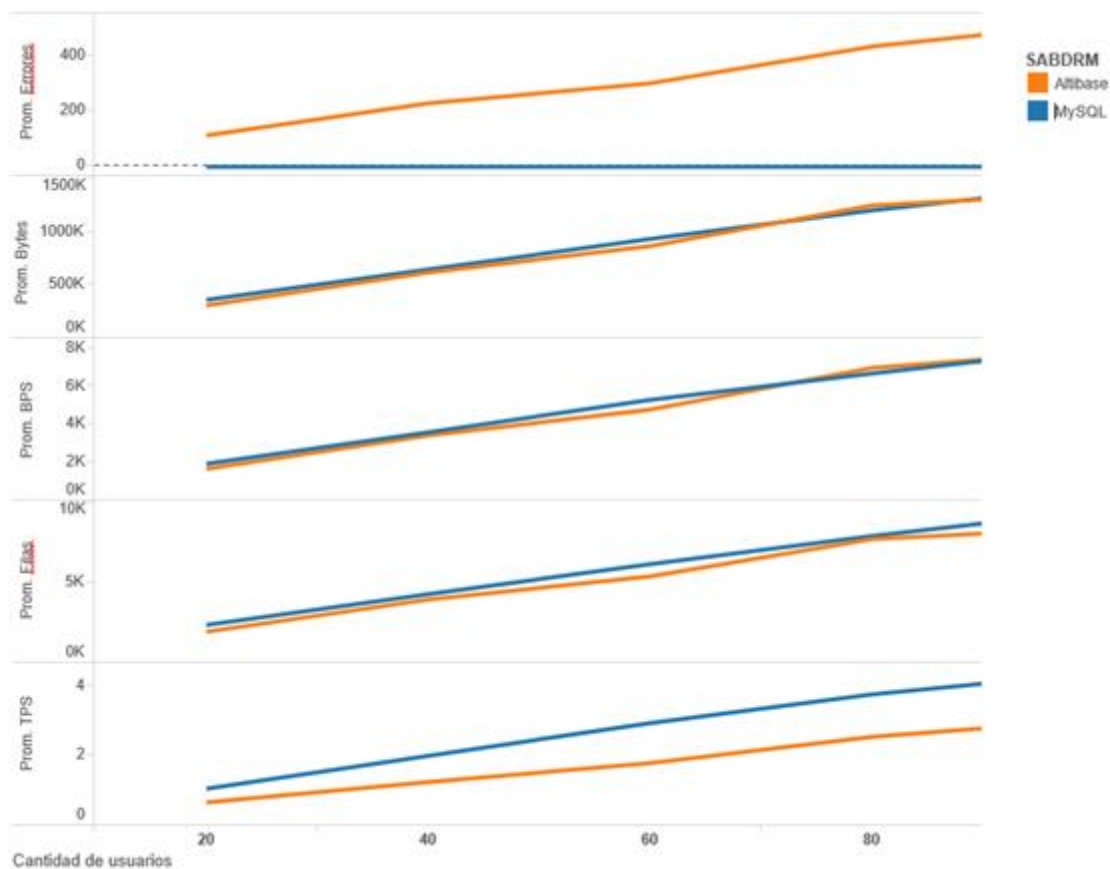


Figura 61 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2, variación 1 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

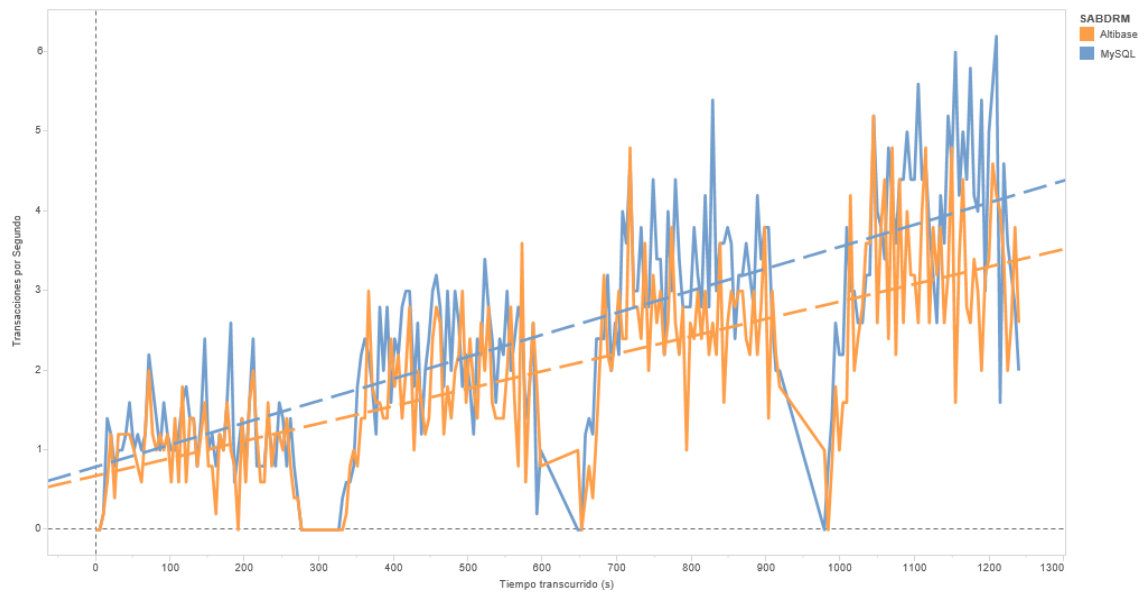


Figura 62 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2, variación 1 y prueba 3

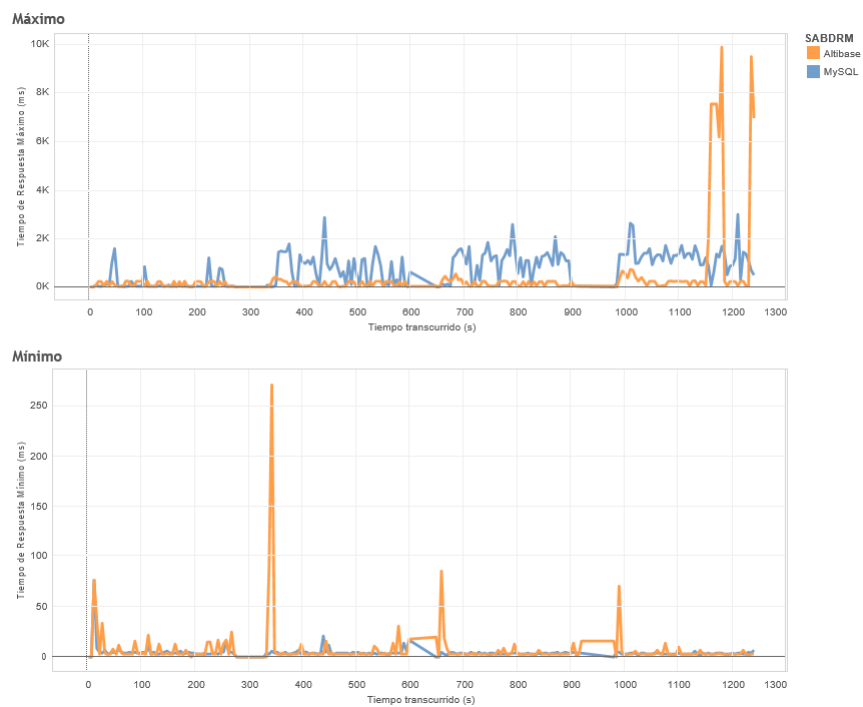


Figura 63 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 1 y prueba 3

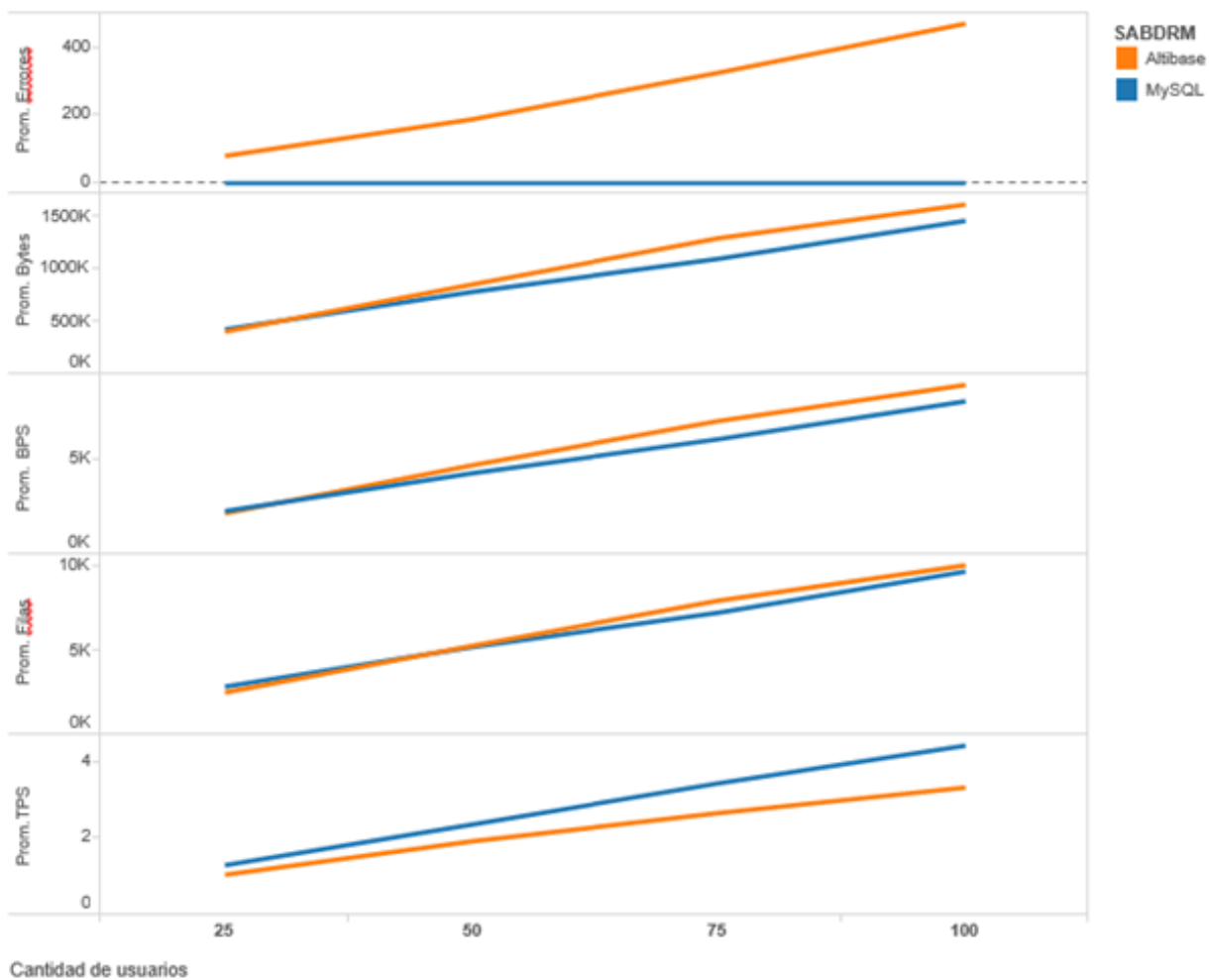


Figura 64 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2, variación 1 y prueba 3

Variación 2: Tolerante a fallos con desconexiones aleatorias

Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5

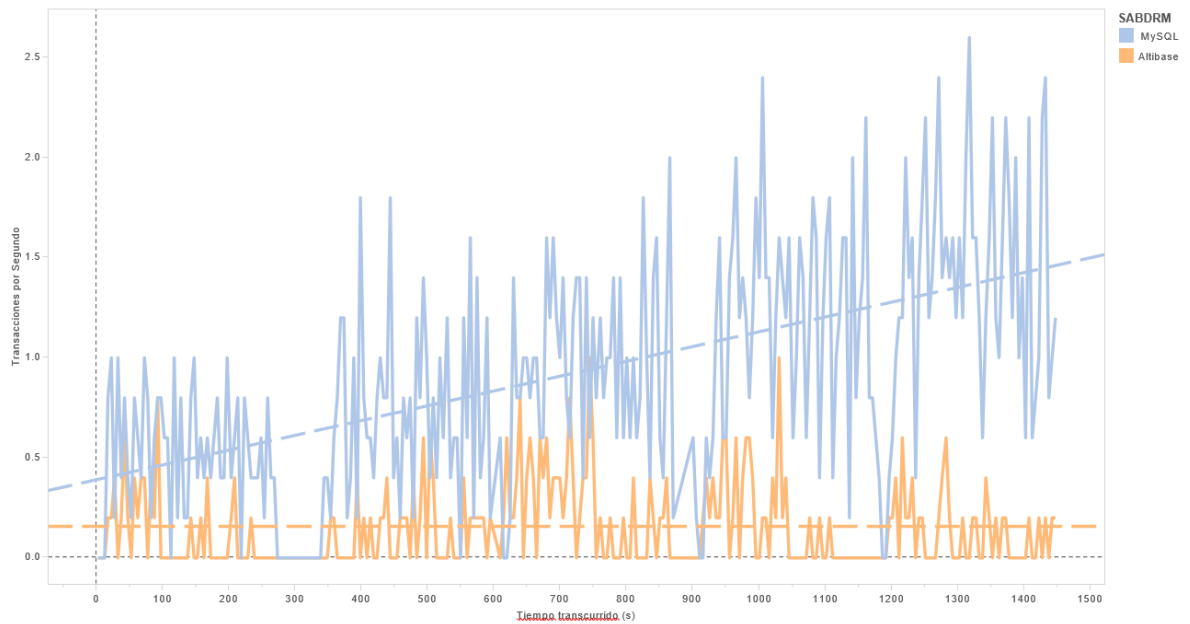


Figura 65 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 2 y prueba 1

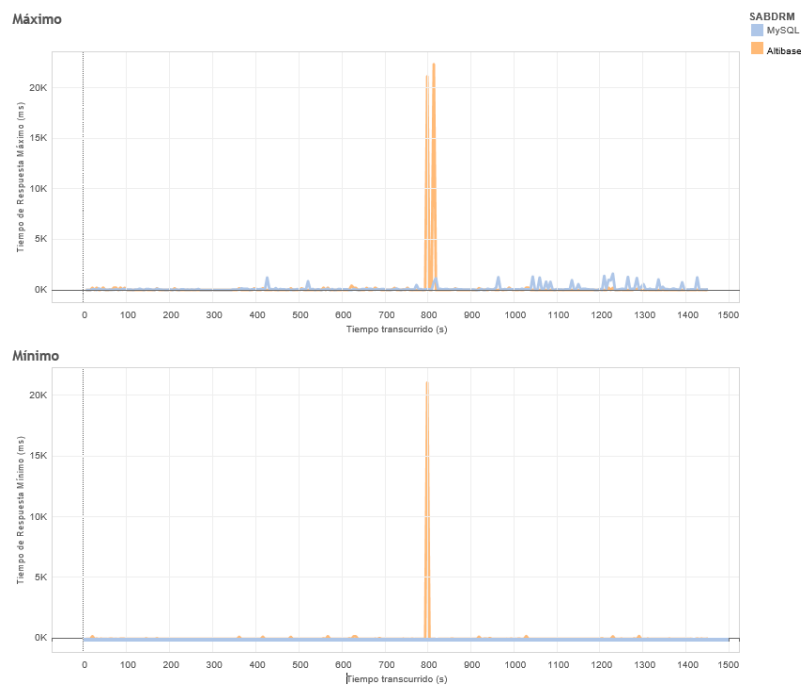


Figura 66 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 2 y prueba 1

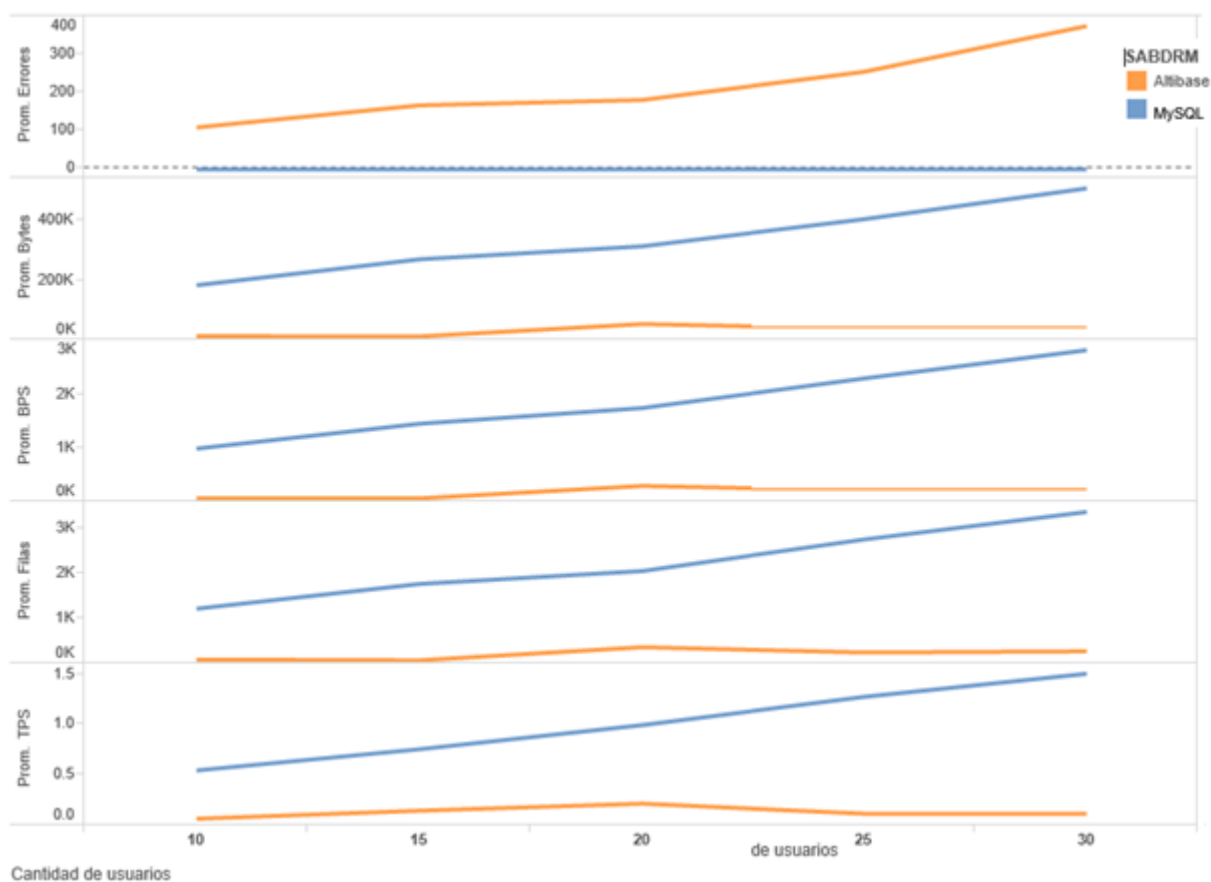


Figura 67 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 2 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 20

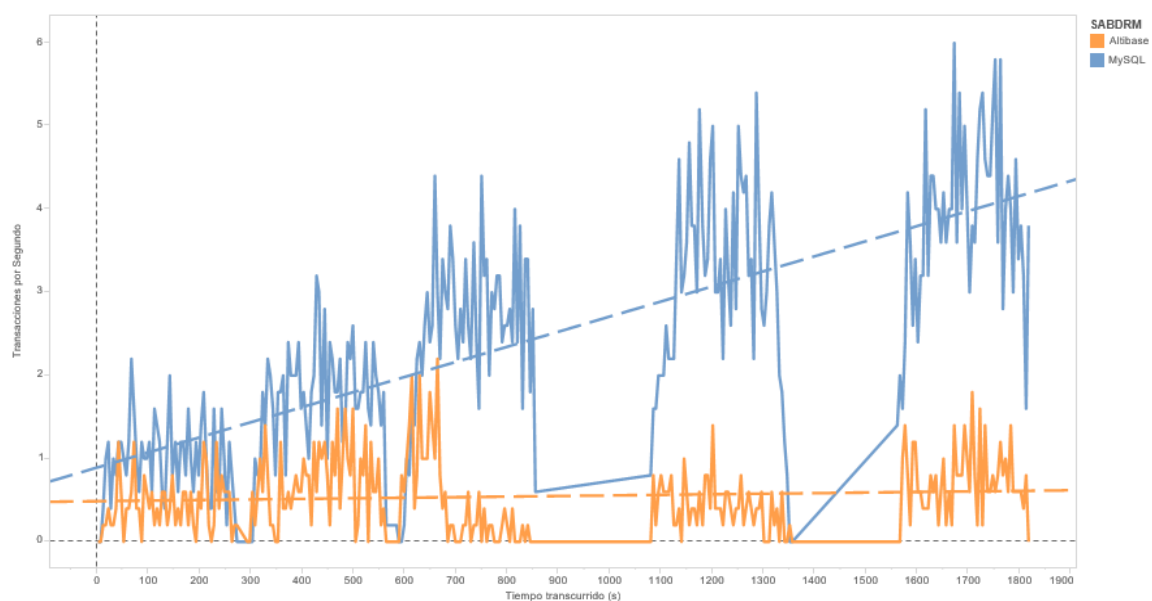


Figura 68 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 2 y prueba 2

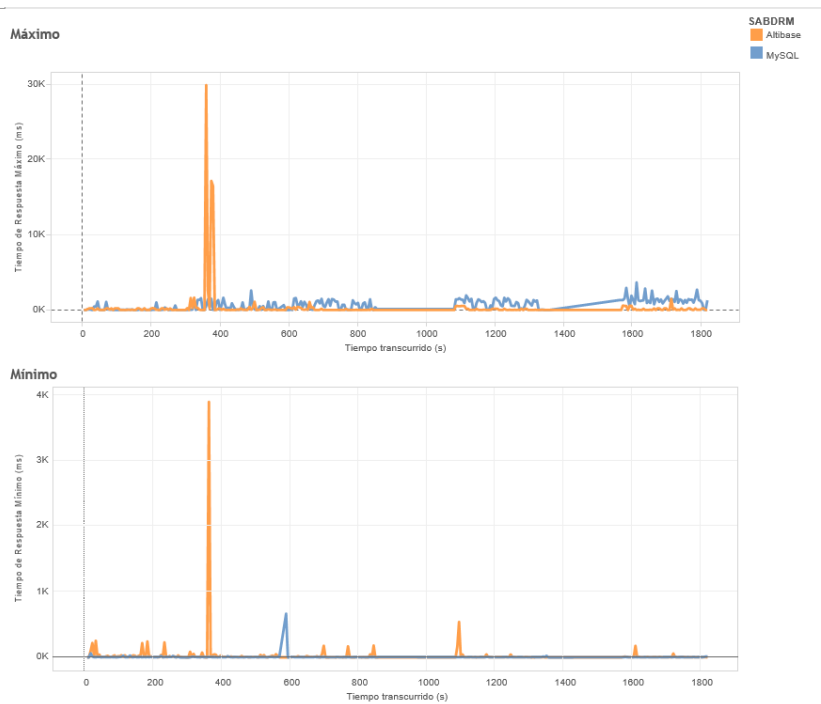


Figura 69 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 2 y prueba 2

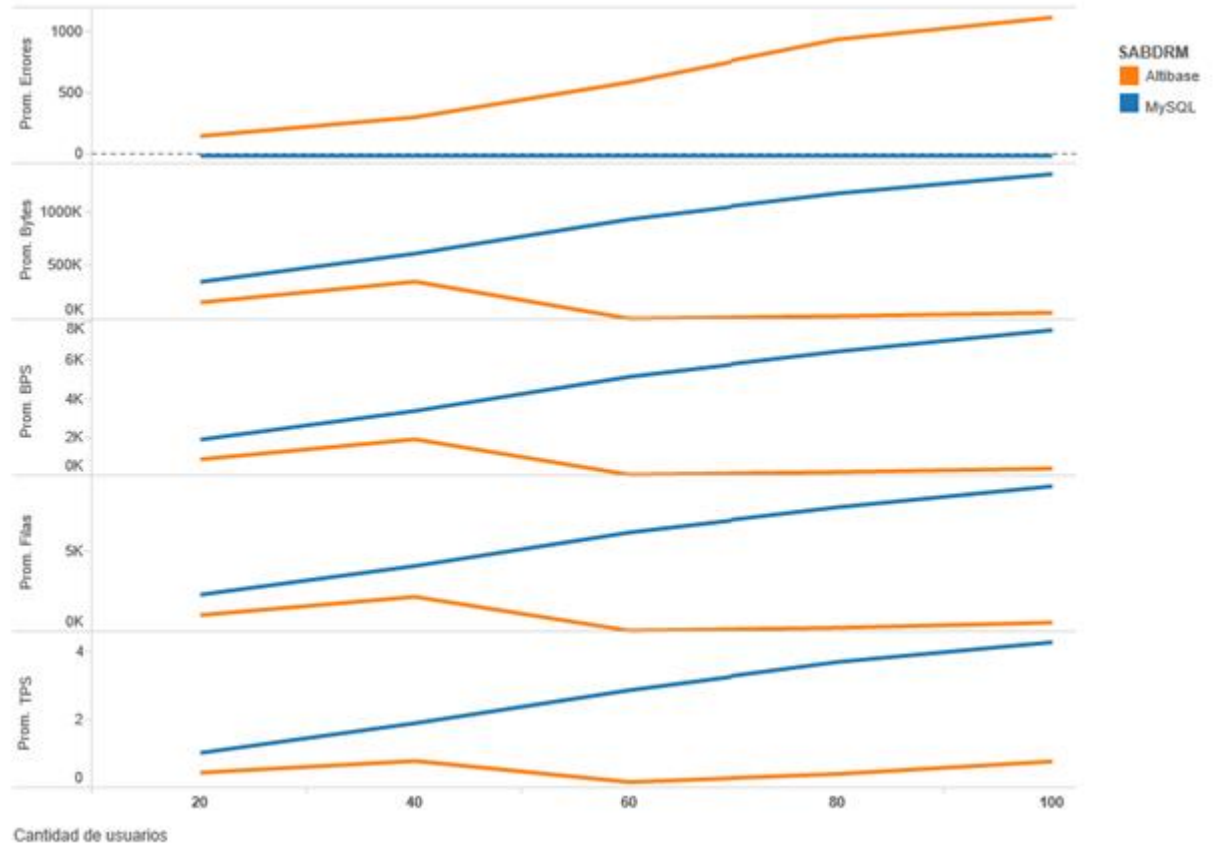


Figura 70 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 2 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

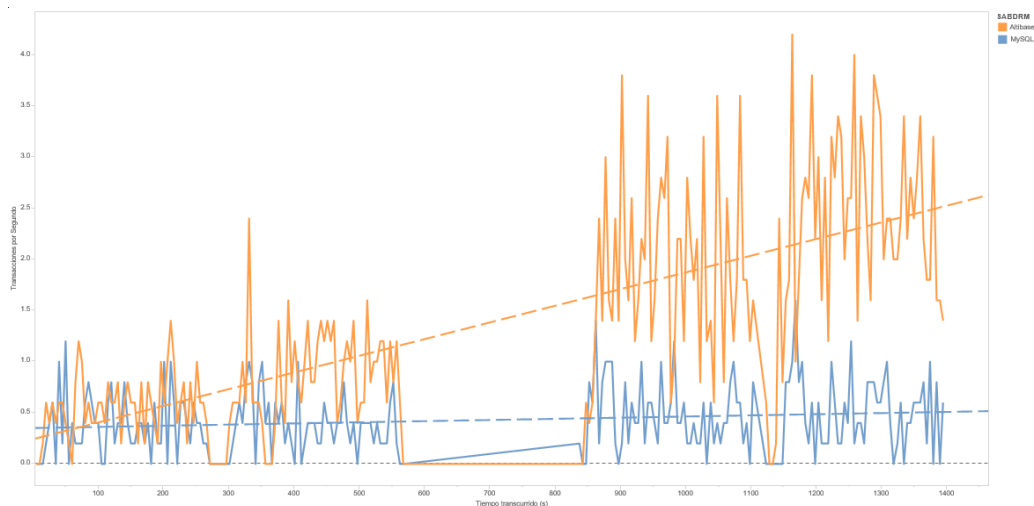


Figura 71 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2 variación 2 y prueba 3

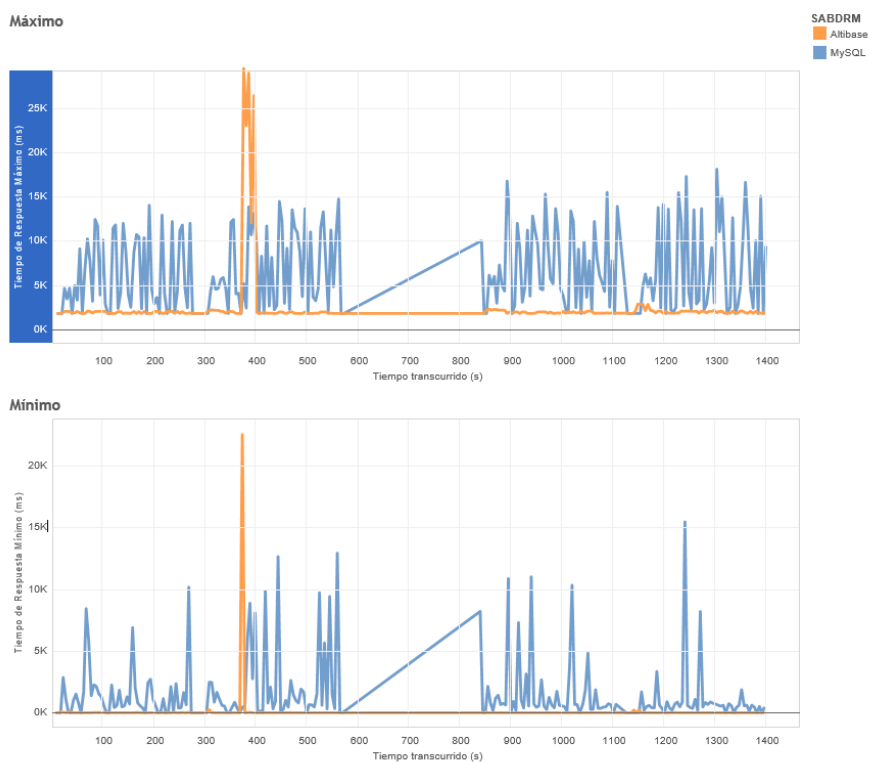


Figura 72 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2 variación 2 y prueba 3

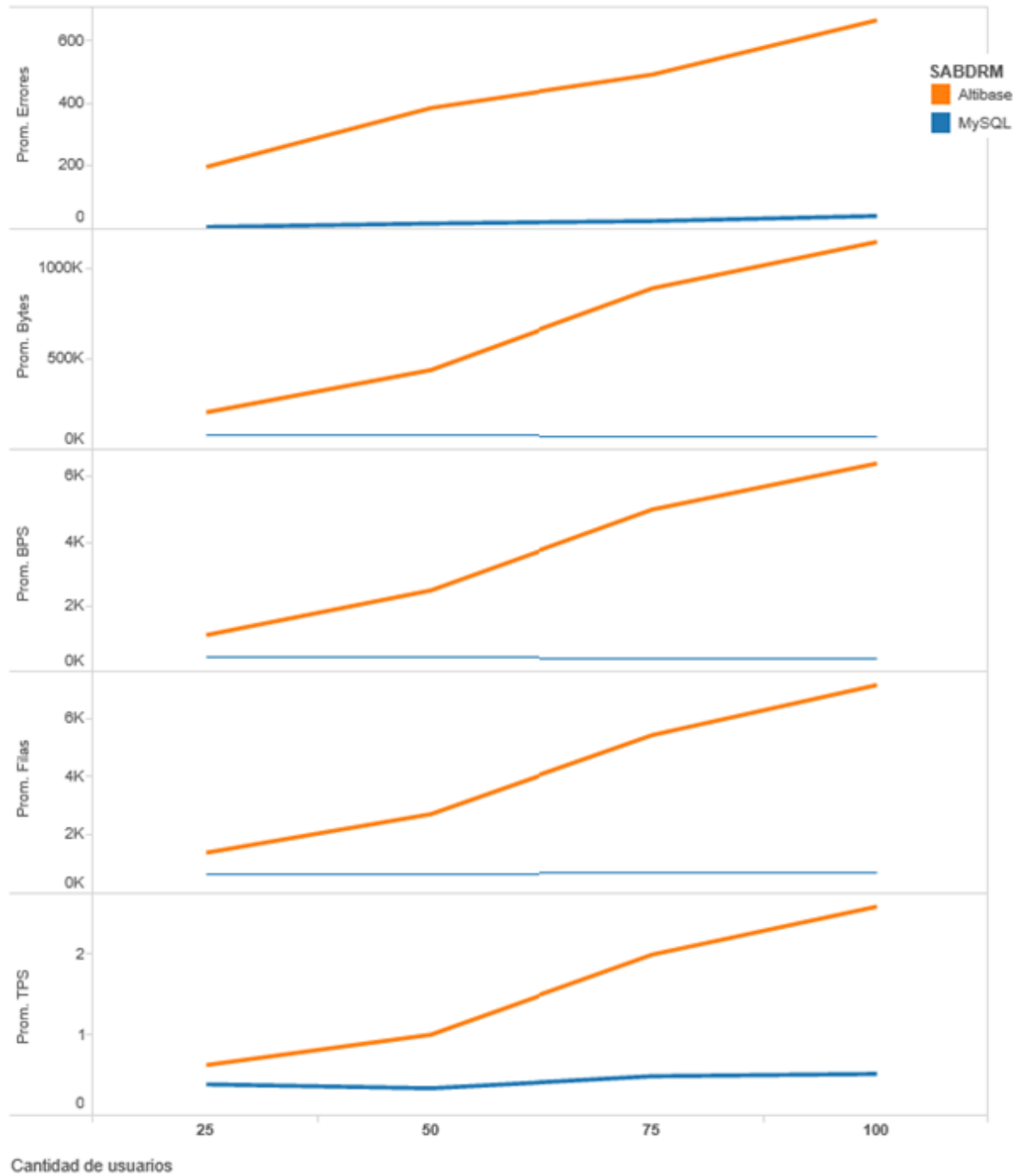


Figura 73. Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2 variación 2 y prueba 3

Pruebas con conjunto de datos de tamaño 512 MB

Escenario 1. SOLO 1 NODO

Variación 1: Sin configuración tolerante a fallos o replicación

Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5

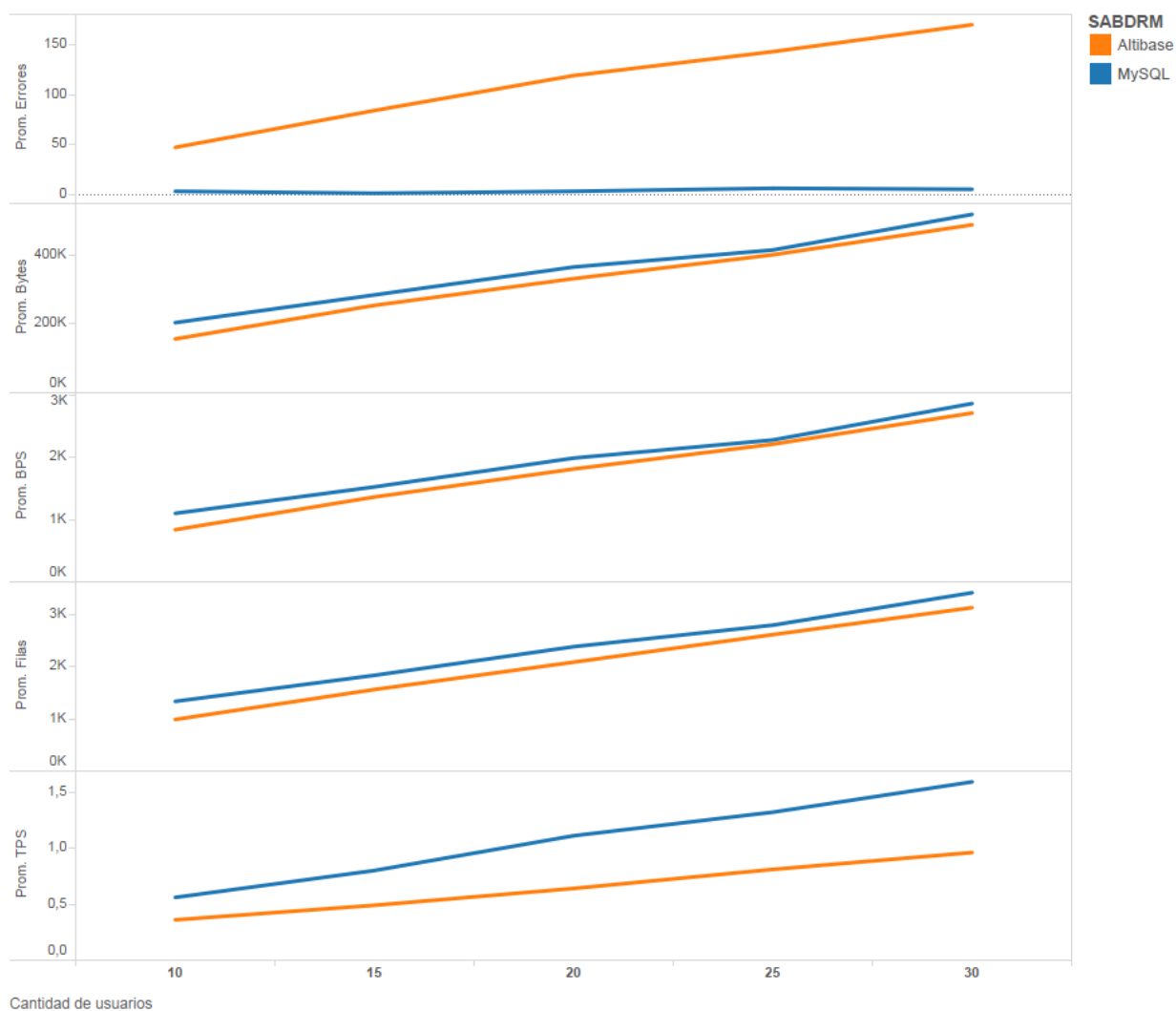


Figura 74. Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 1 y prueba 1



Figura 75. Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 1 y prueba 1

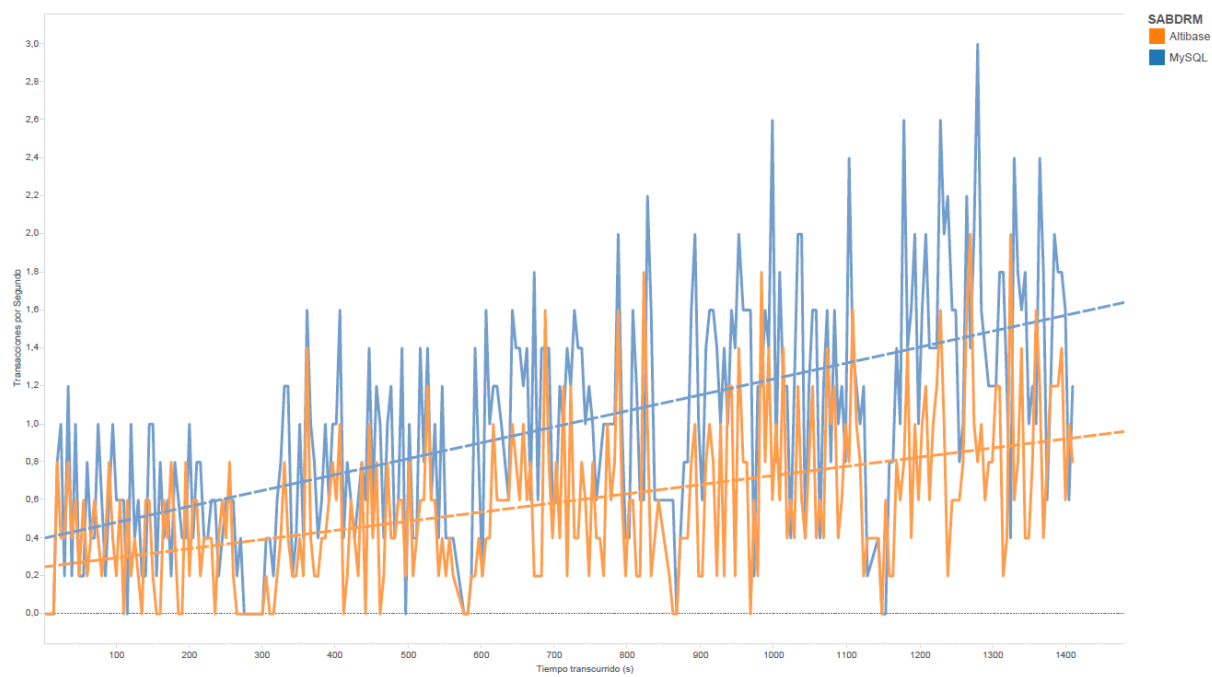


Figura 76. Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 20

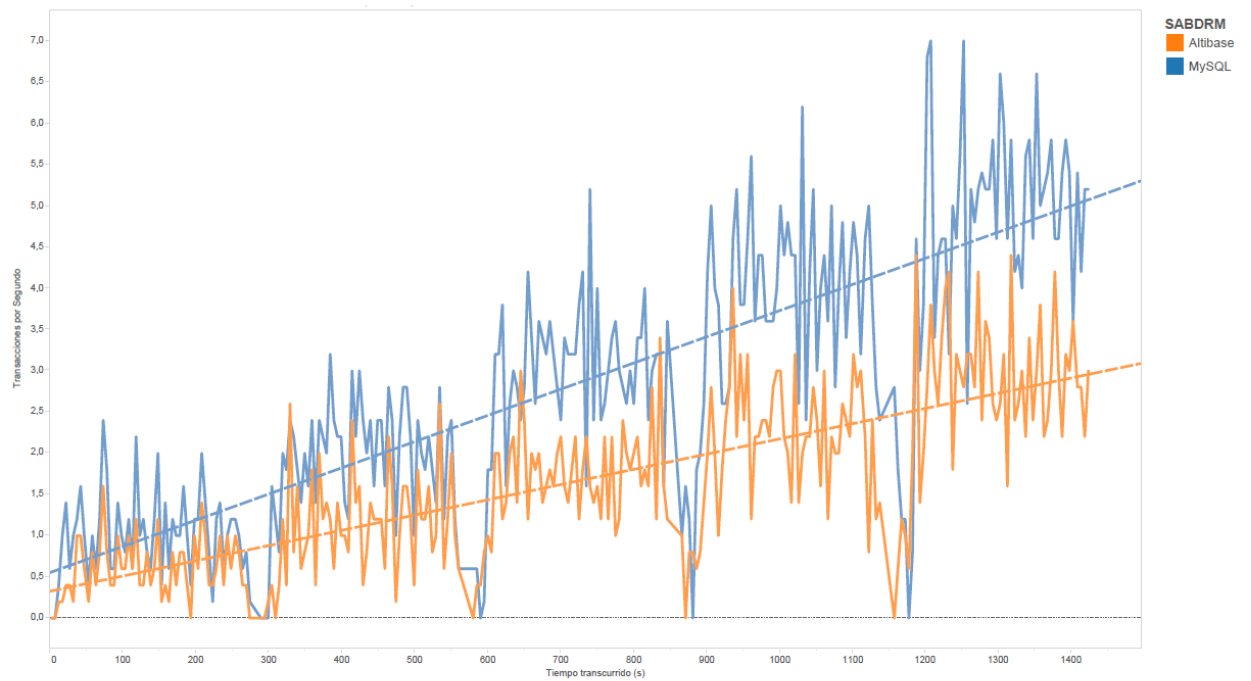


Figura 77 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 1 y prueba 2

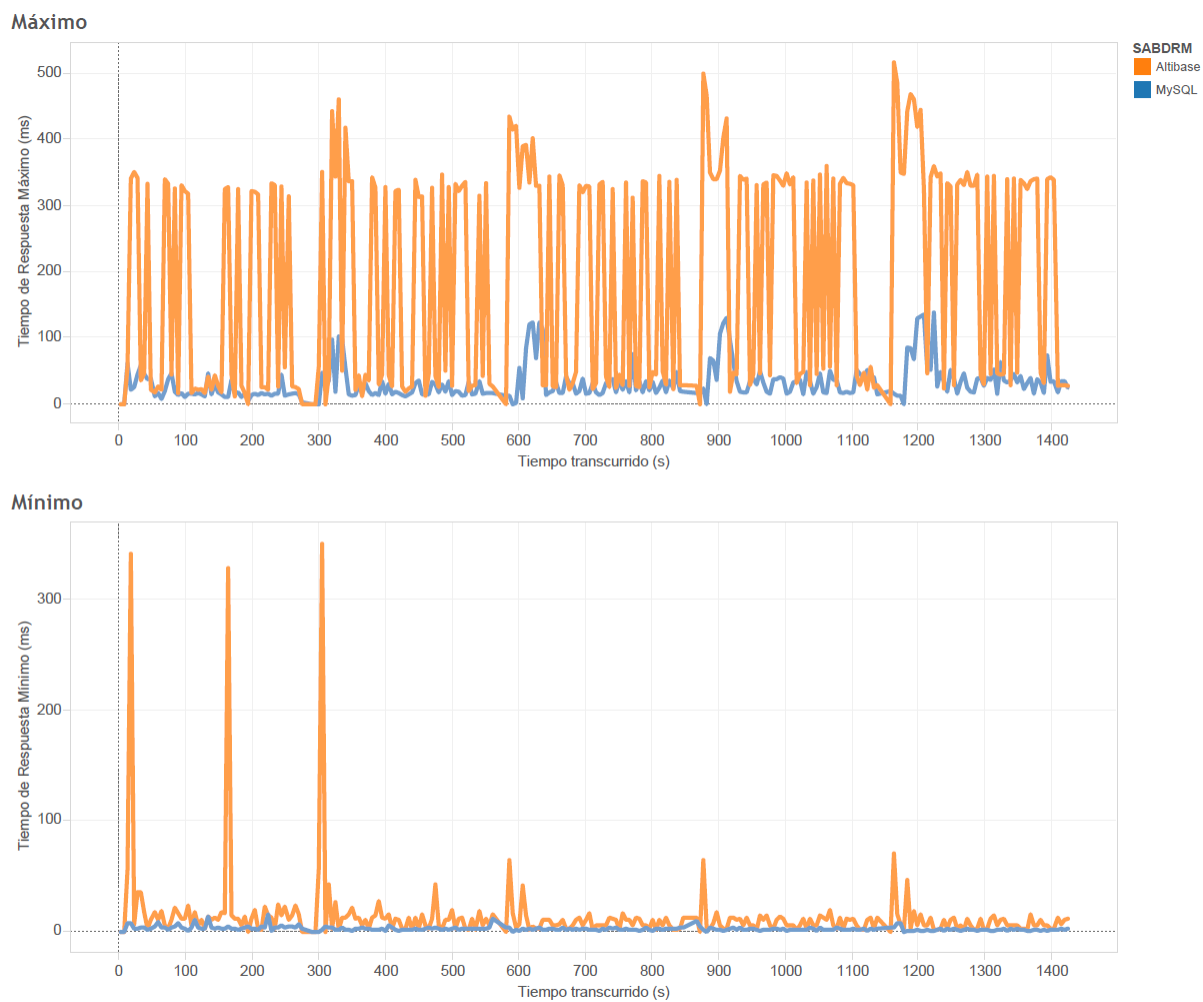


Figura 78 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 1 y prueba 2

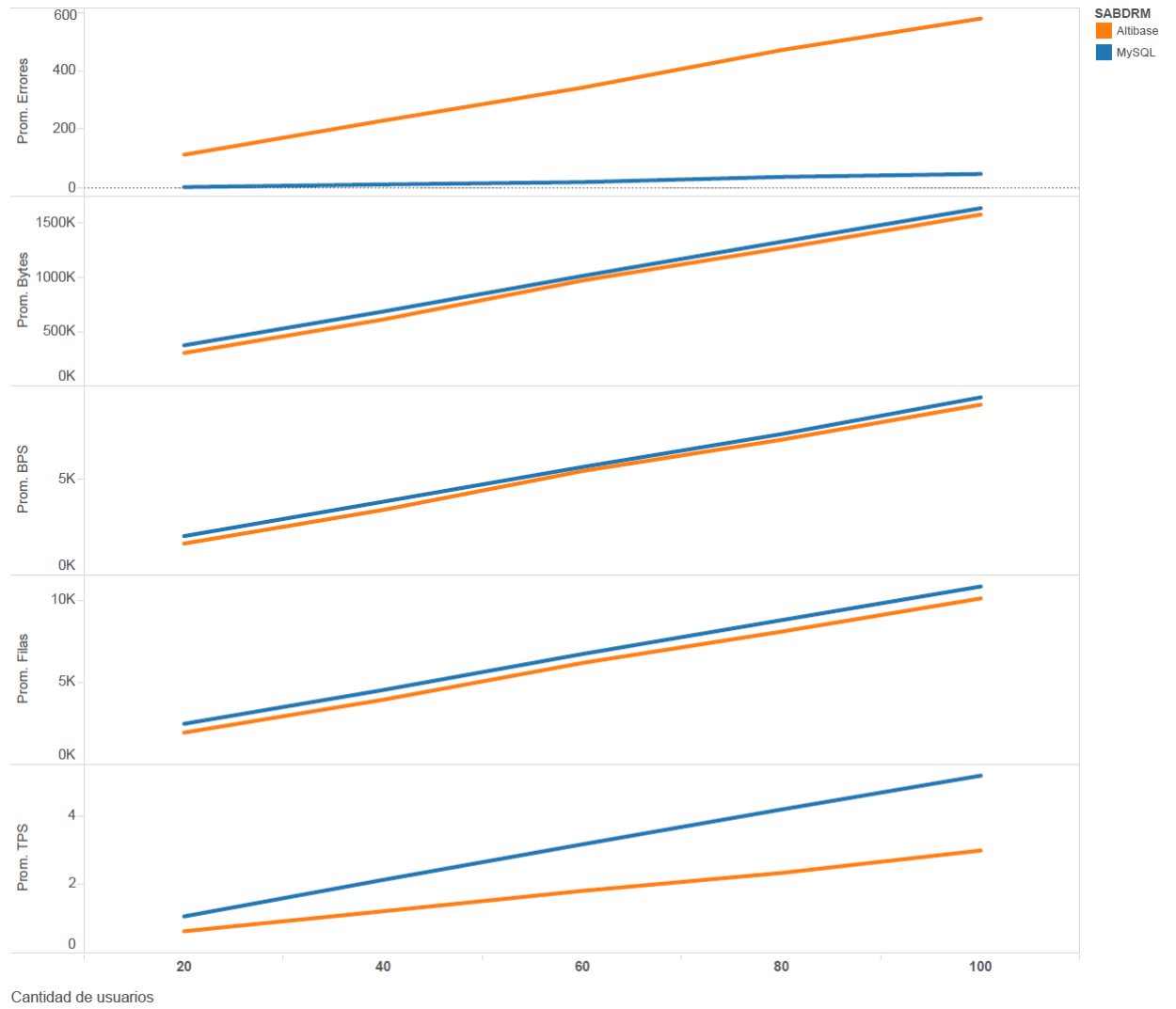


Figura 79 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 1 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

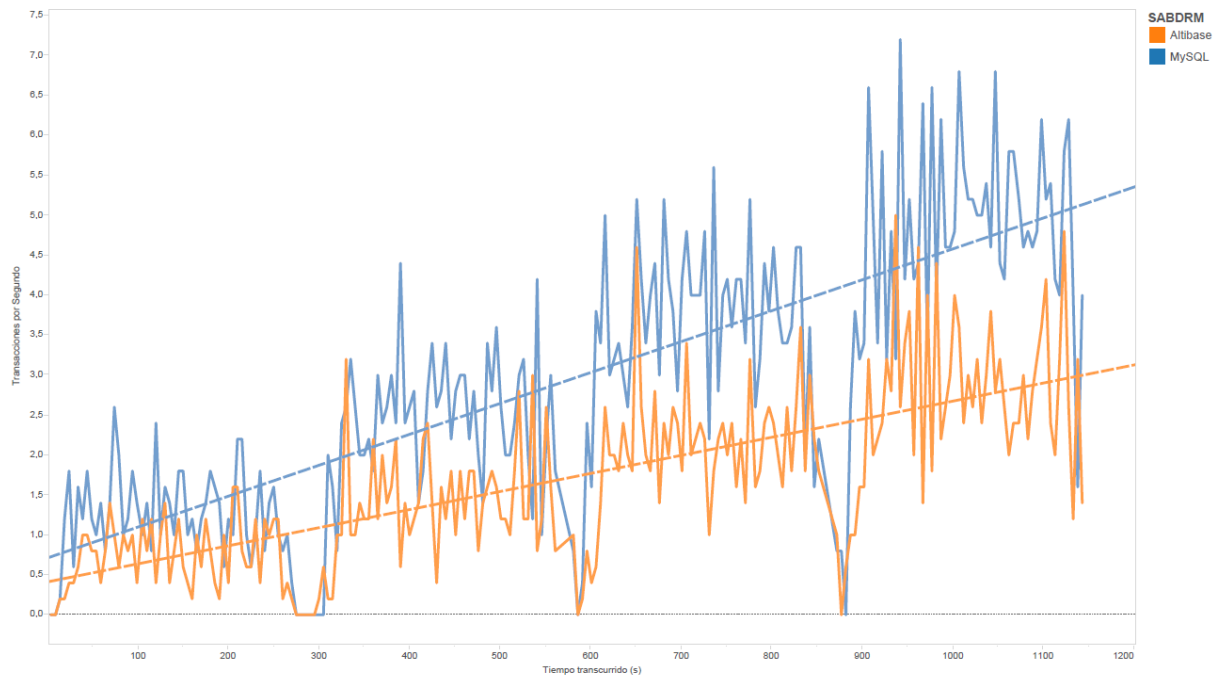


Figura 80 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 1 y prueba 3



Figura 81 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 1 y prueba 3

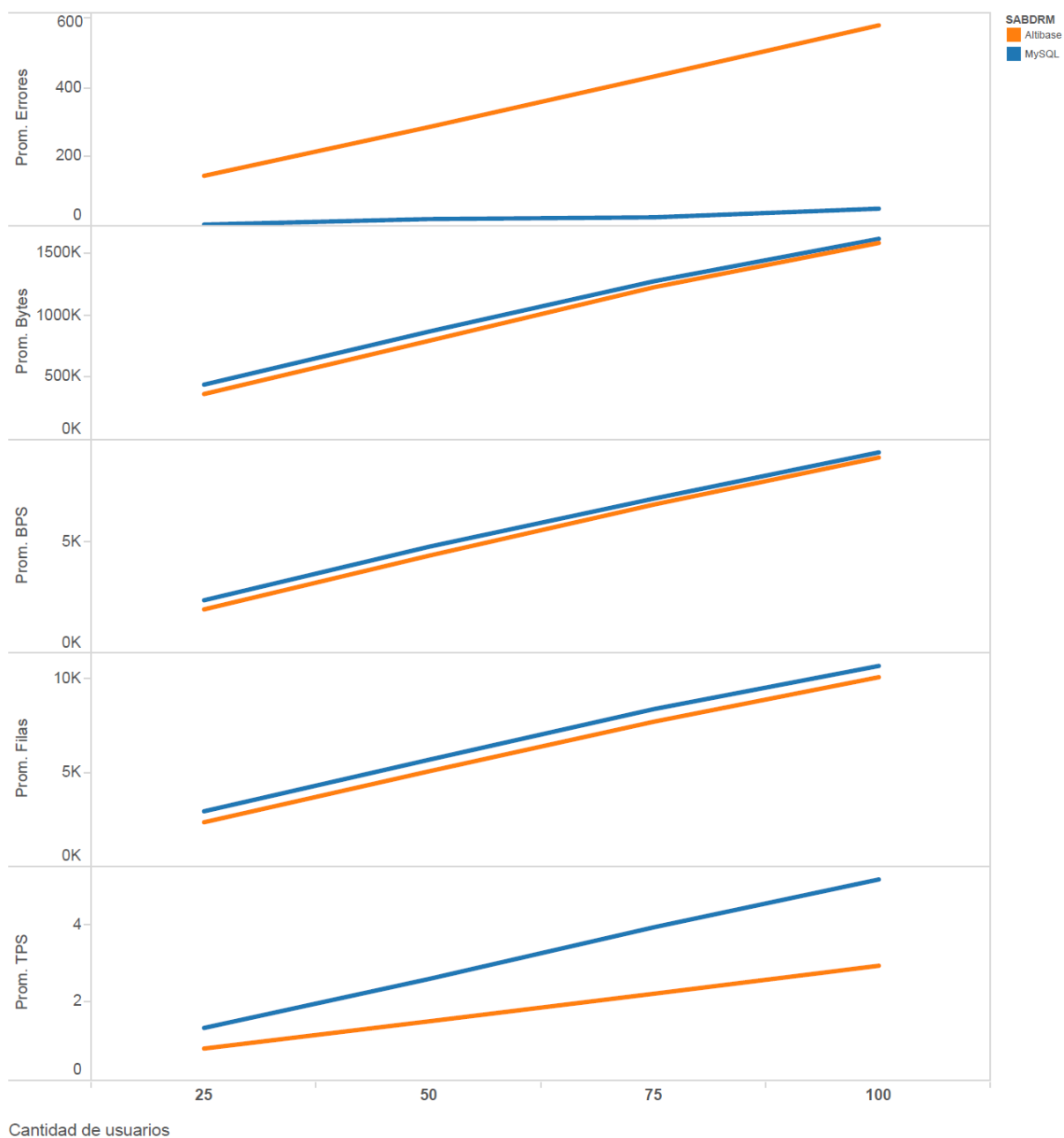


Figura 82 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 3

Variación 2: Solo nodo 1 en configuración tolerante a fallos

Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5

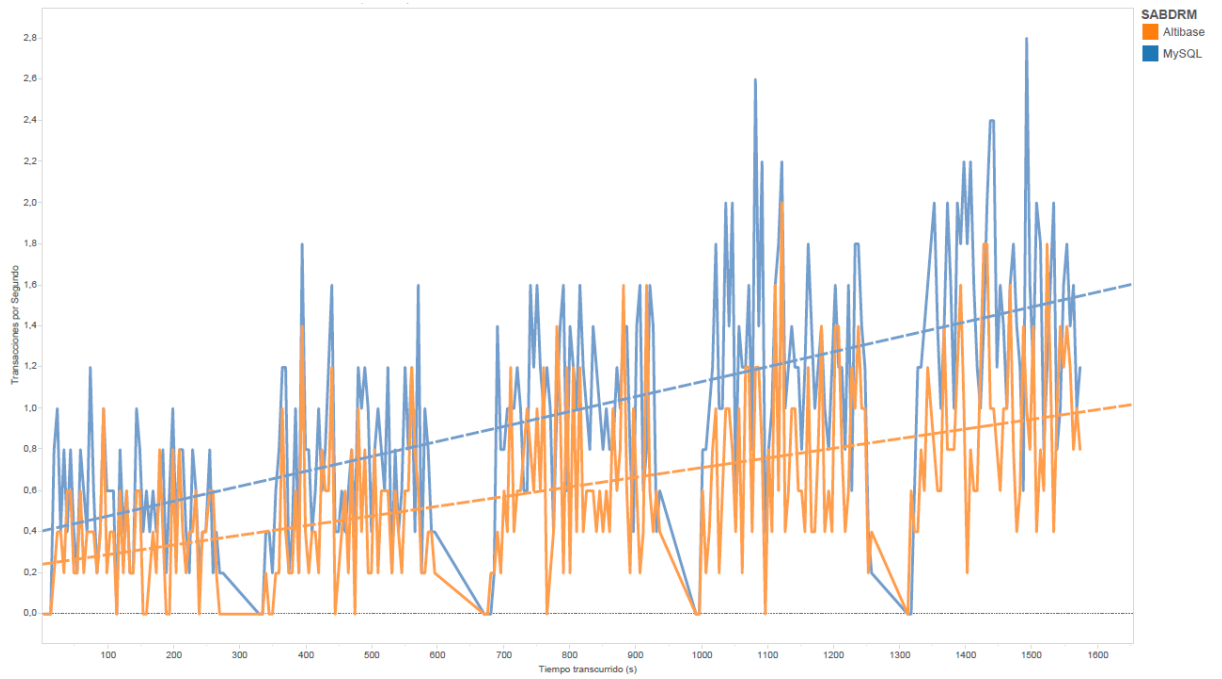


Figura 83 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 1

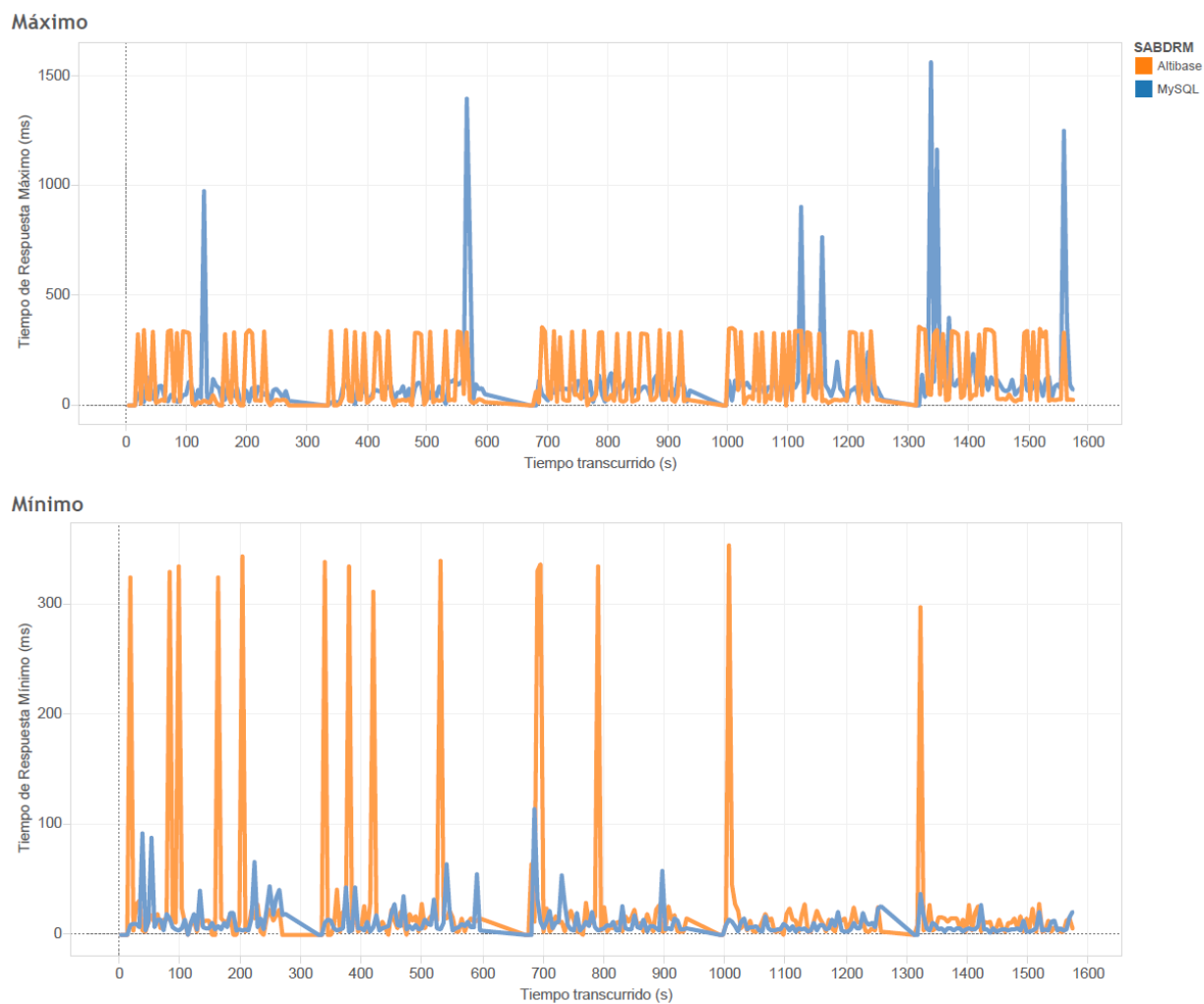


Figura 84 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 1

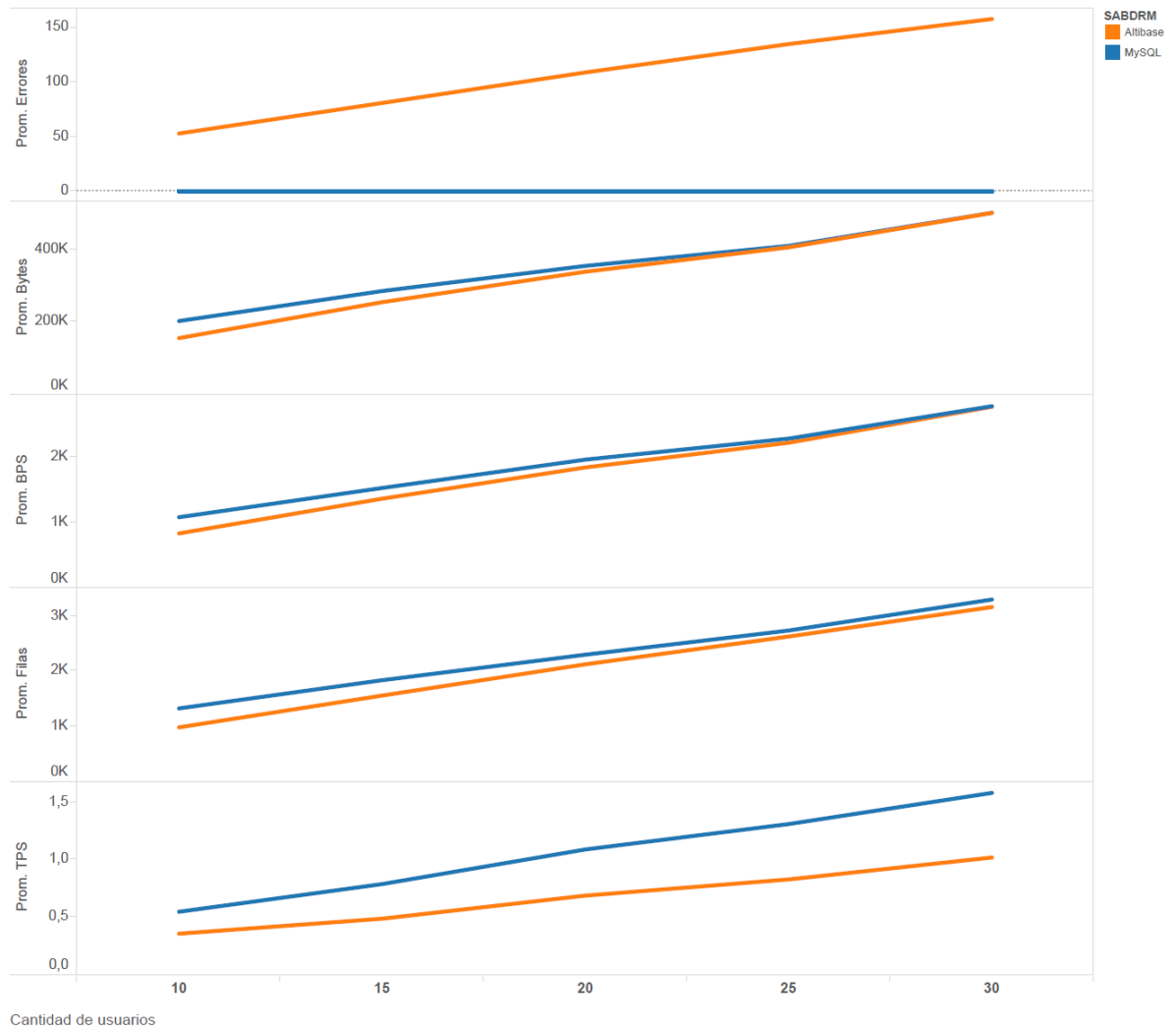


Figura 85 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 20

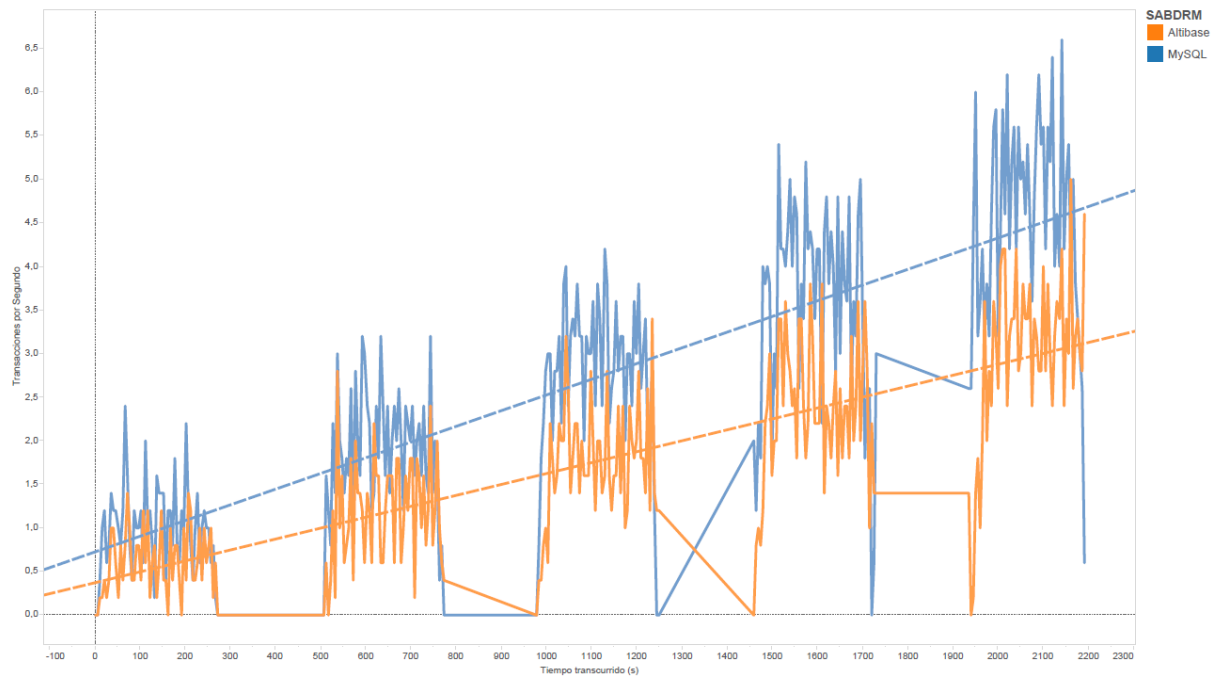


Figura 86 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 2

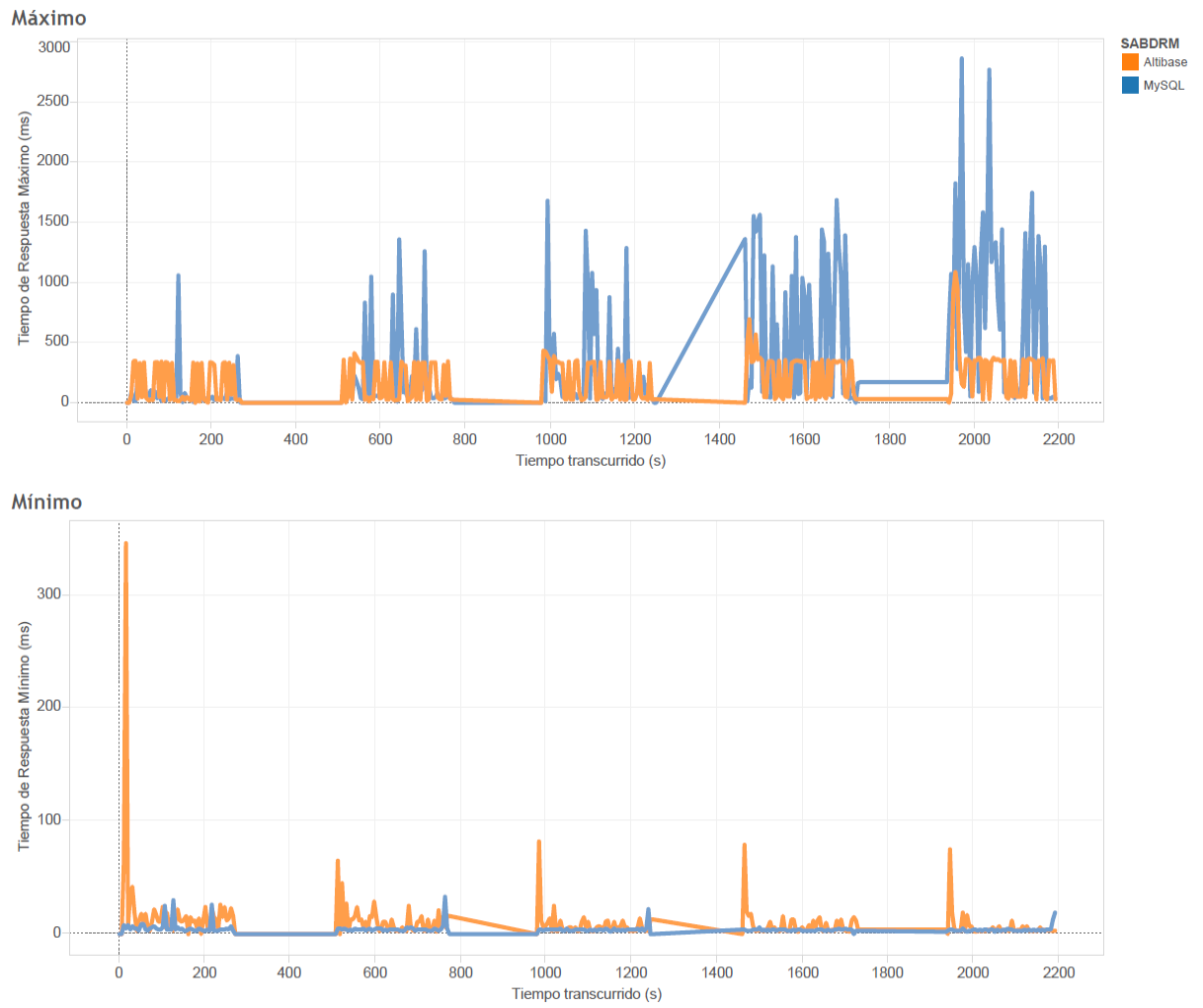


Figura 87 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 2

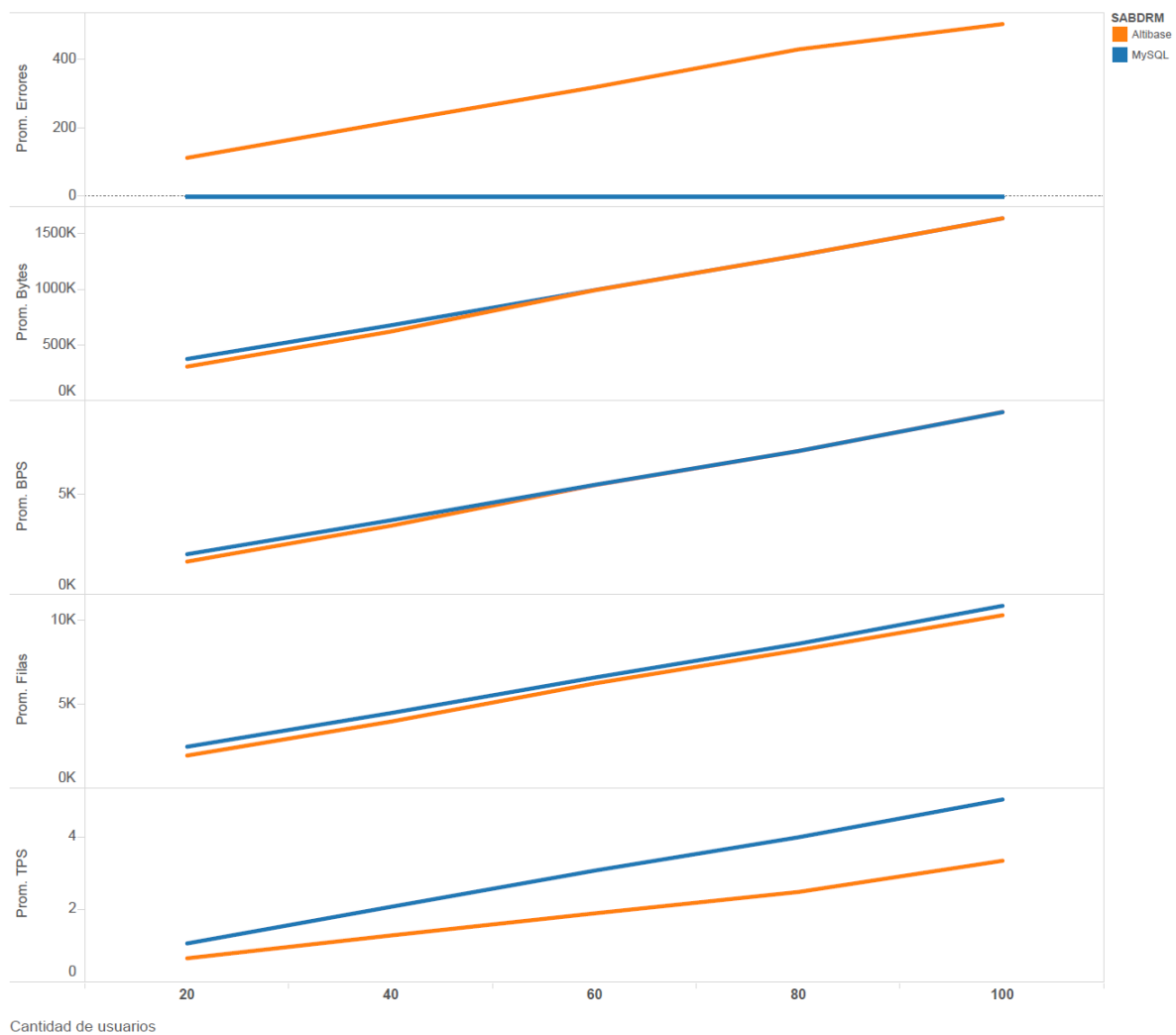


Figura 88 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

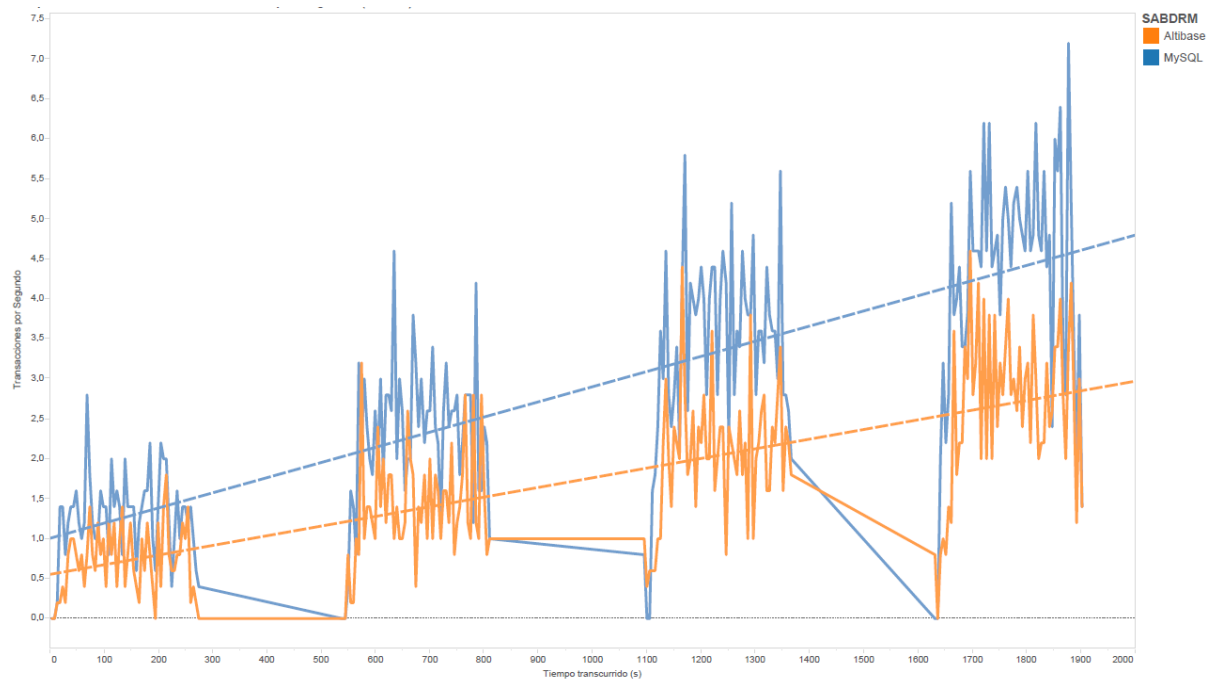


Figura 89 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 2 y prueba 3

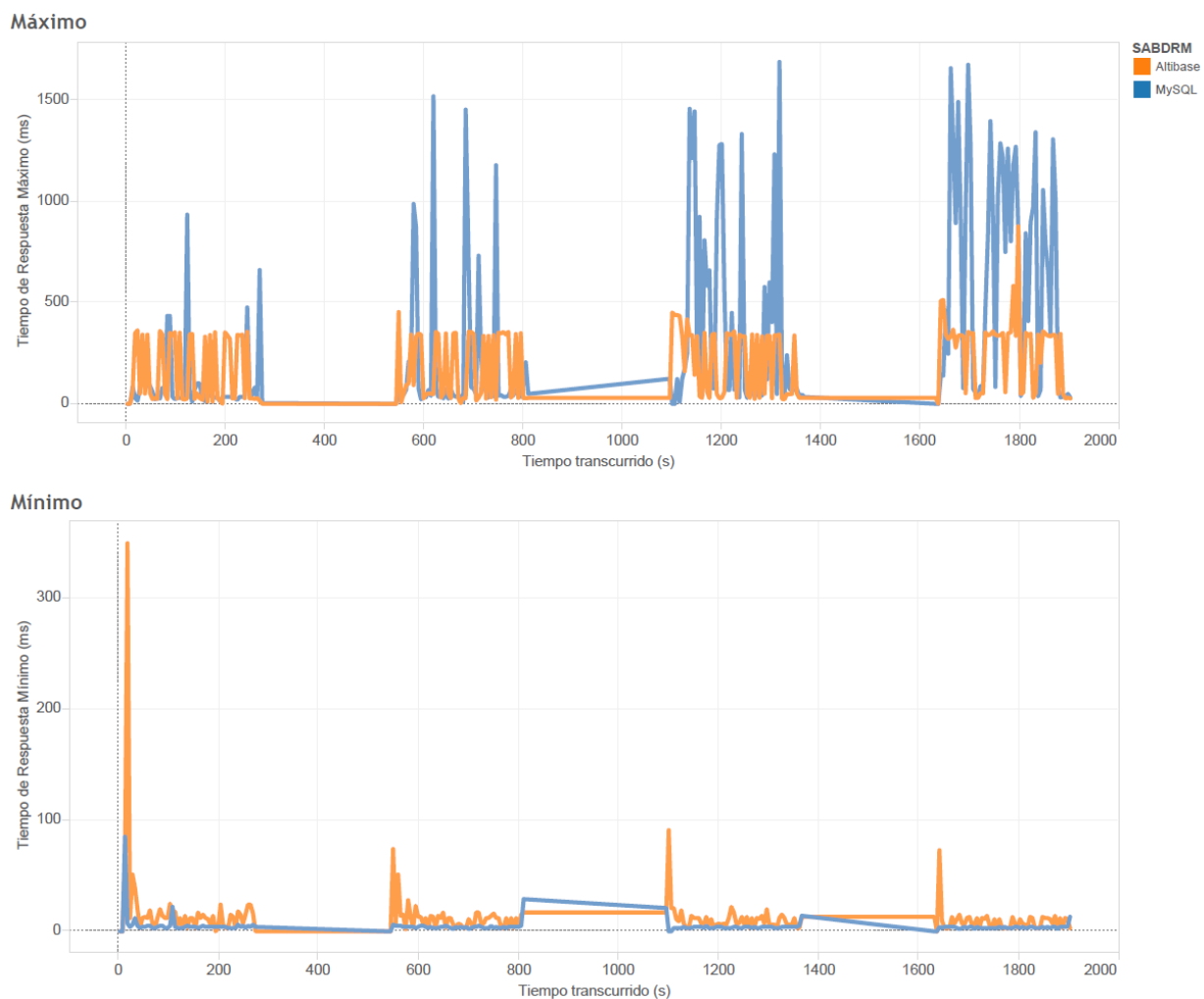


Figura 90 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 2 y prueba 3

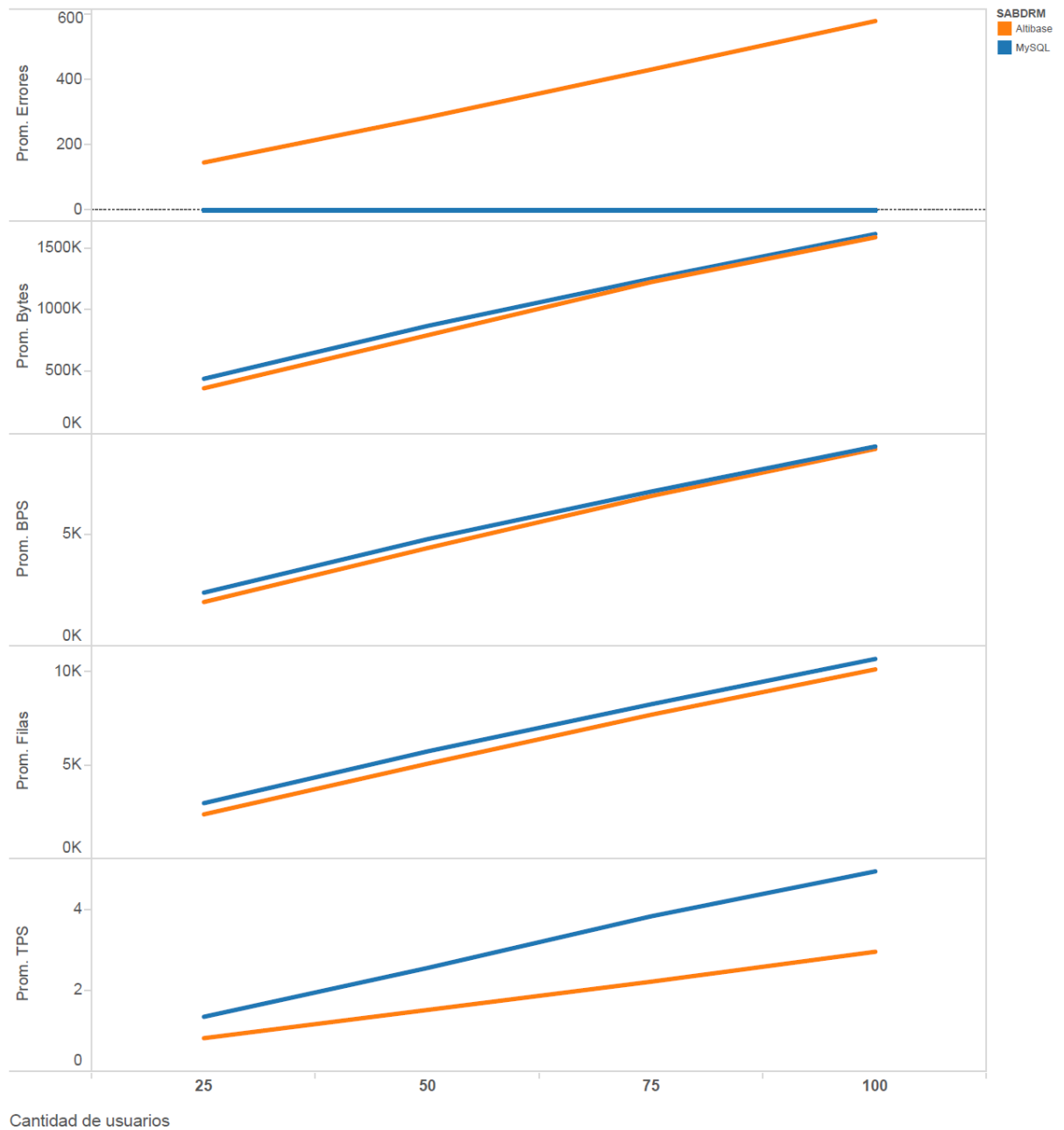


Figura 91 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 2 y prueba 3

Variación 3: Solo nodo 2 en configuración tolerante a fallos

Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5

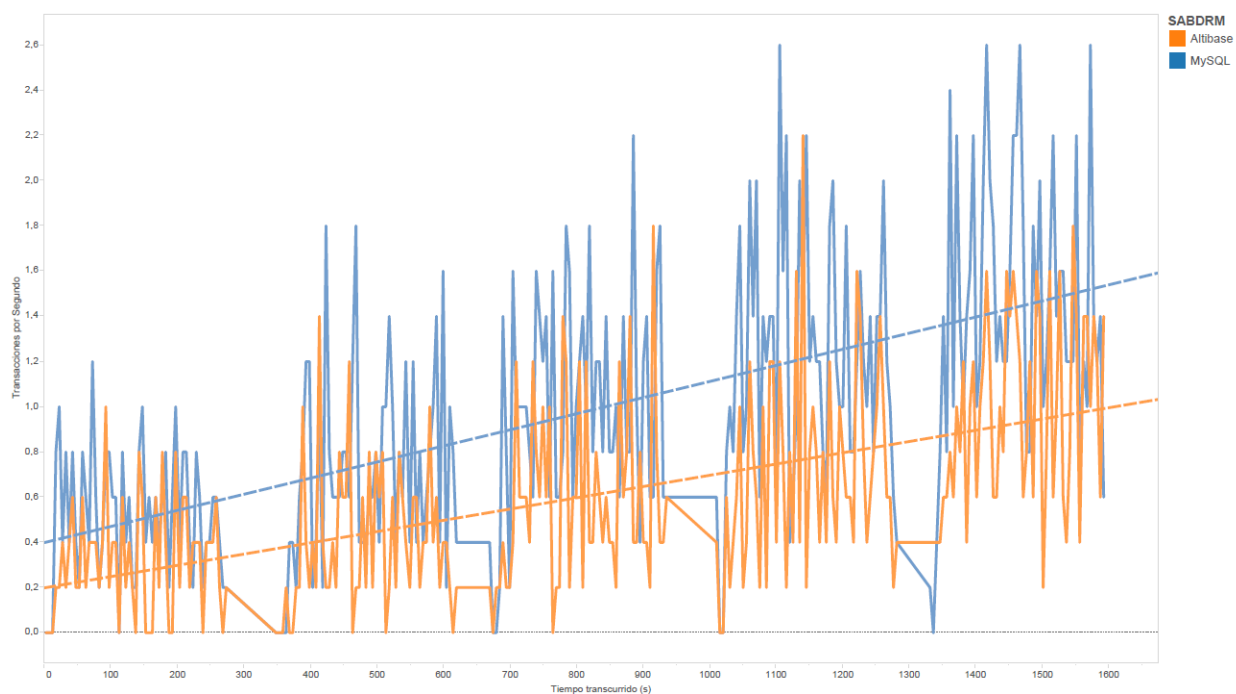


Figura 92 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 1



Figura 93 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 1

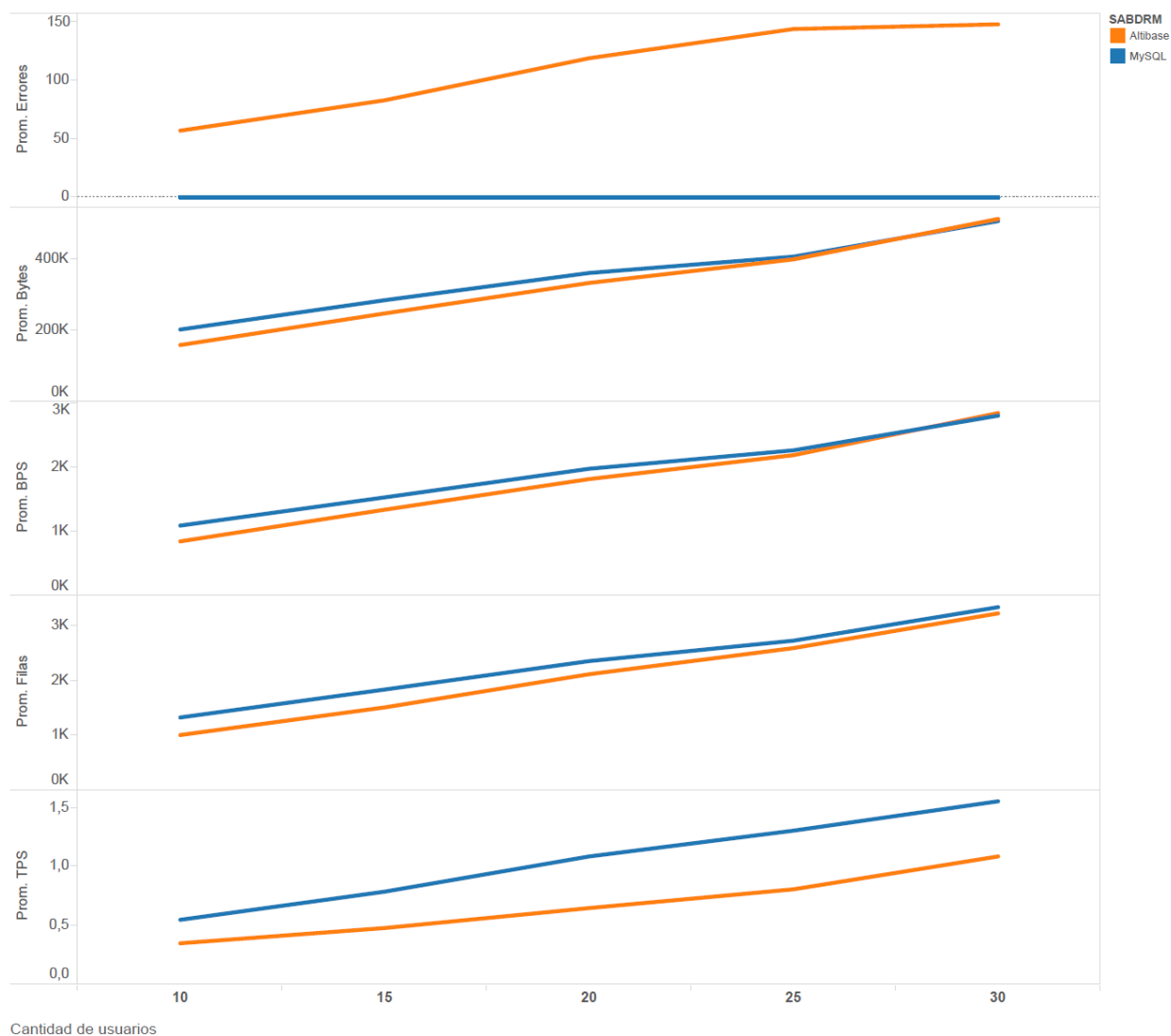


Figura 94 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 3 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 25

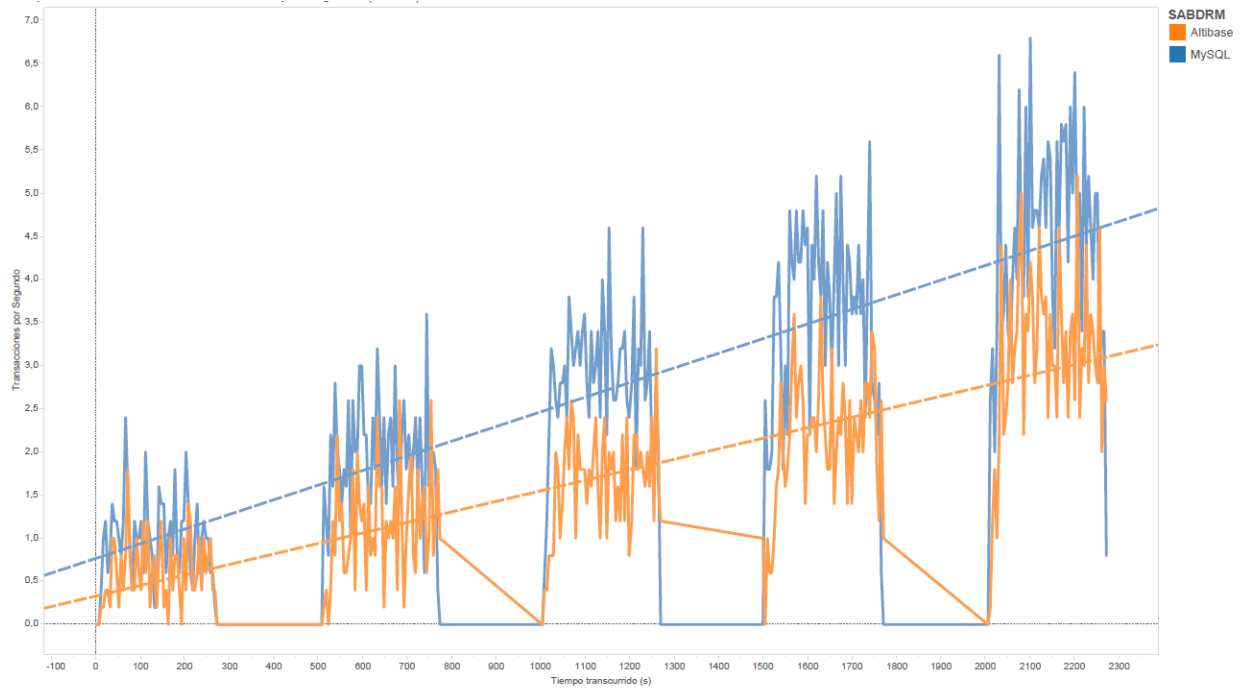


Figura 95 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 2



Figura 96 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 2

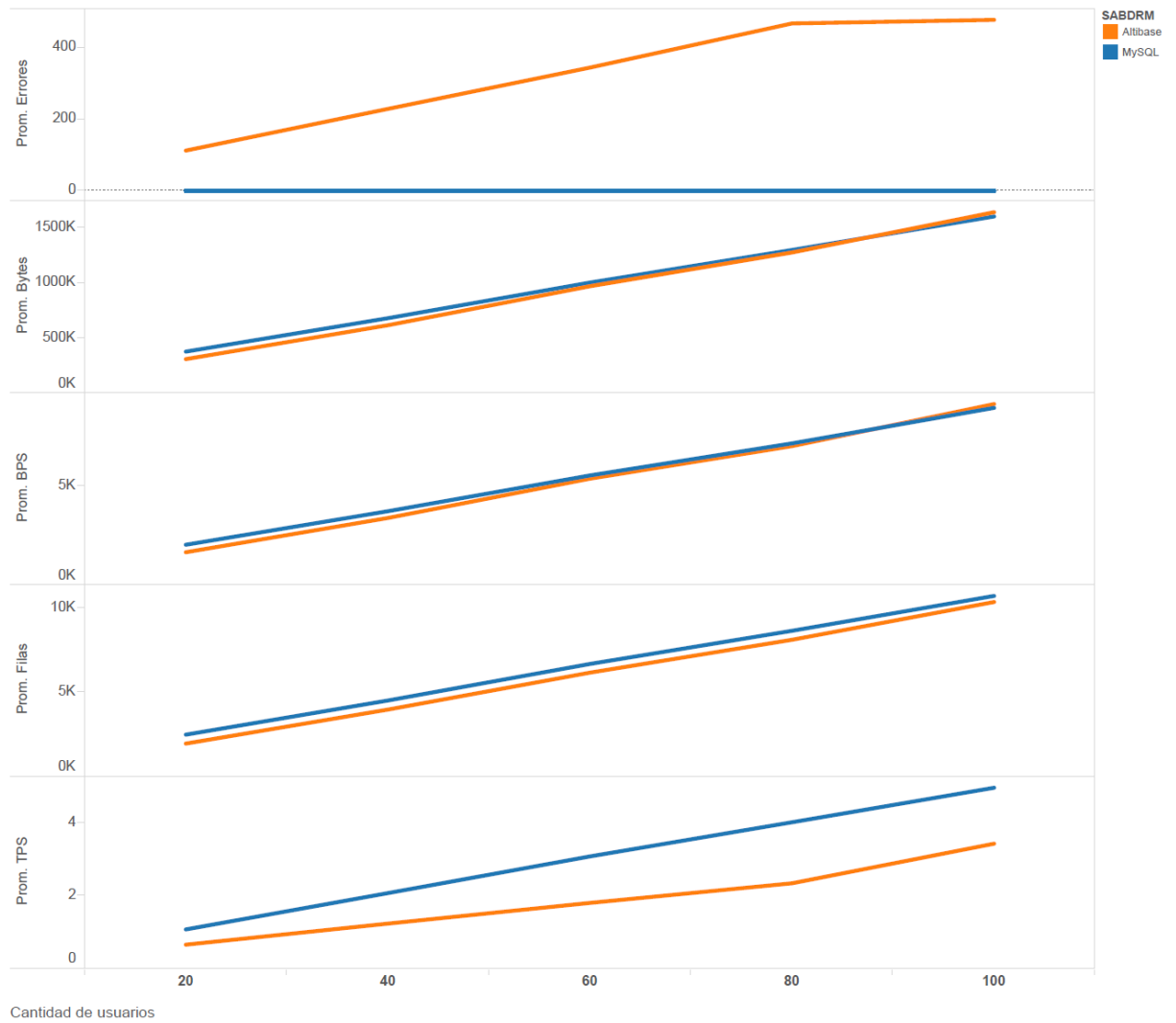


Figura 97 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 3 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

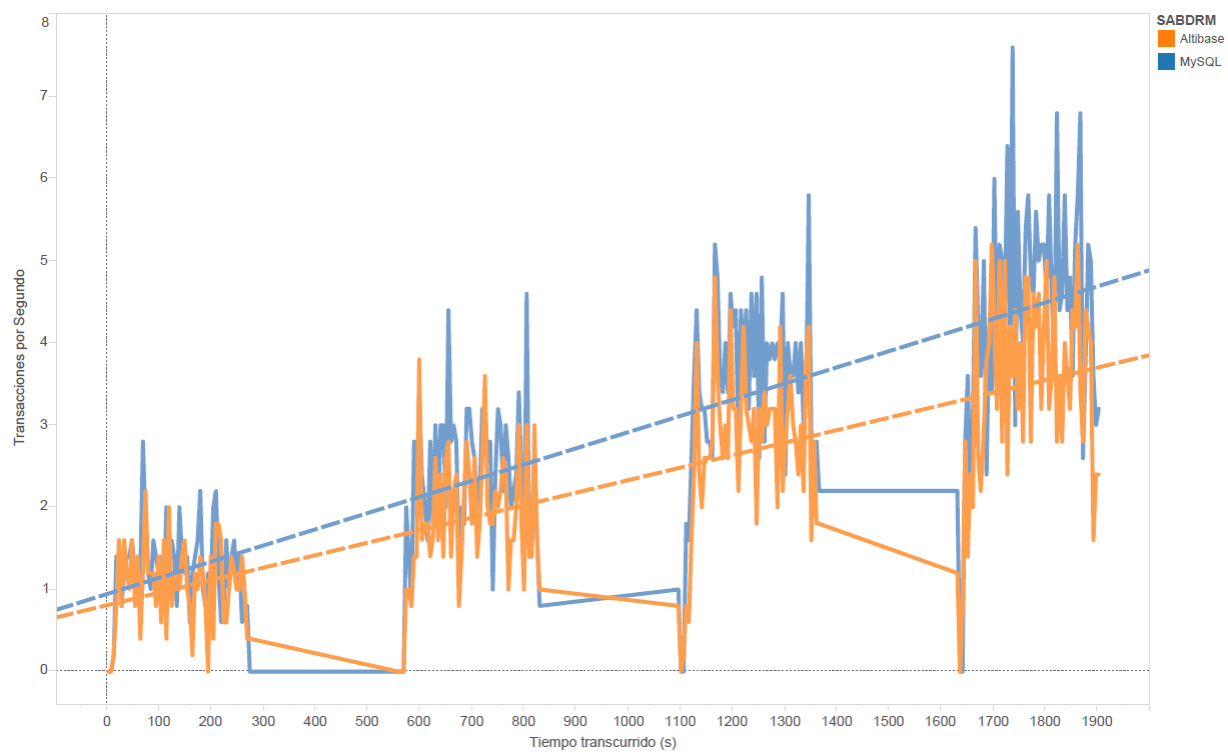


Figura 98 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 1, variación 3 y prueba 3

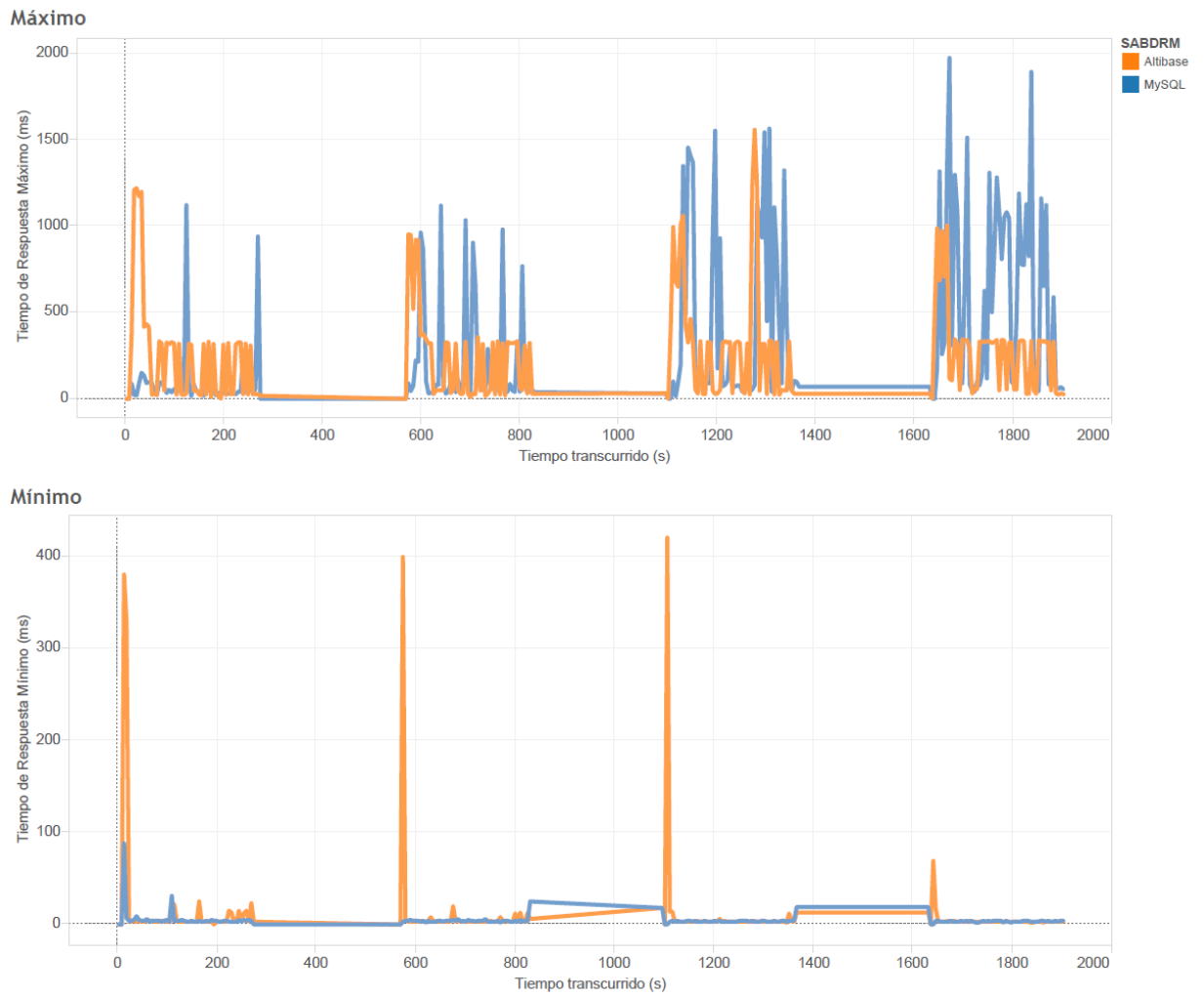


Figura 99 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 1, variación 3 y prueba 3

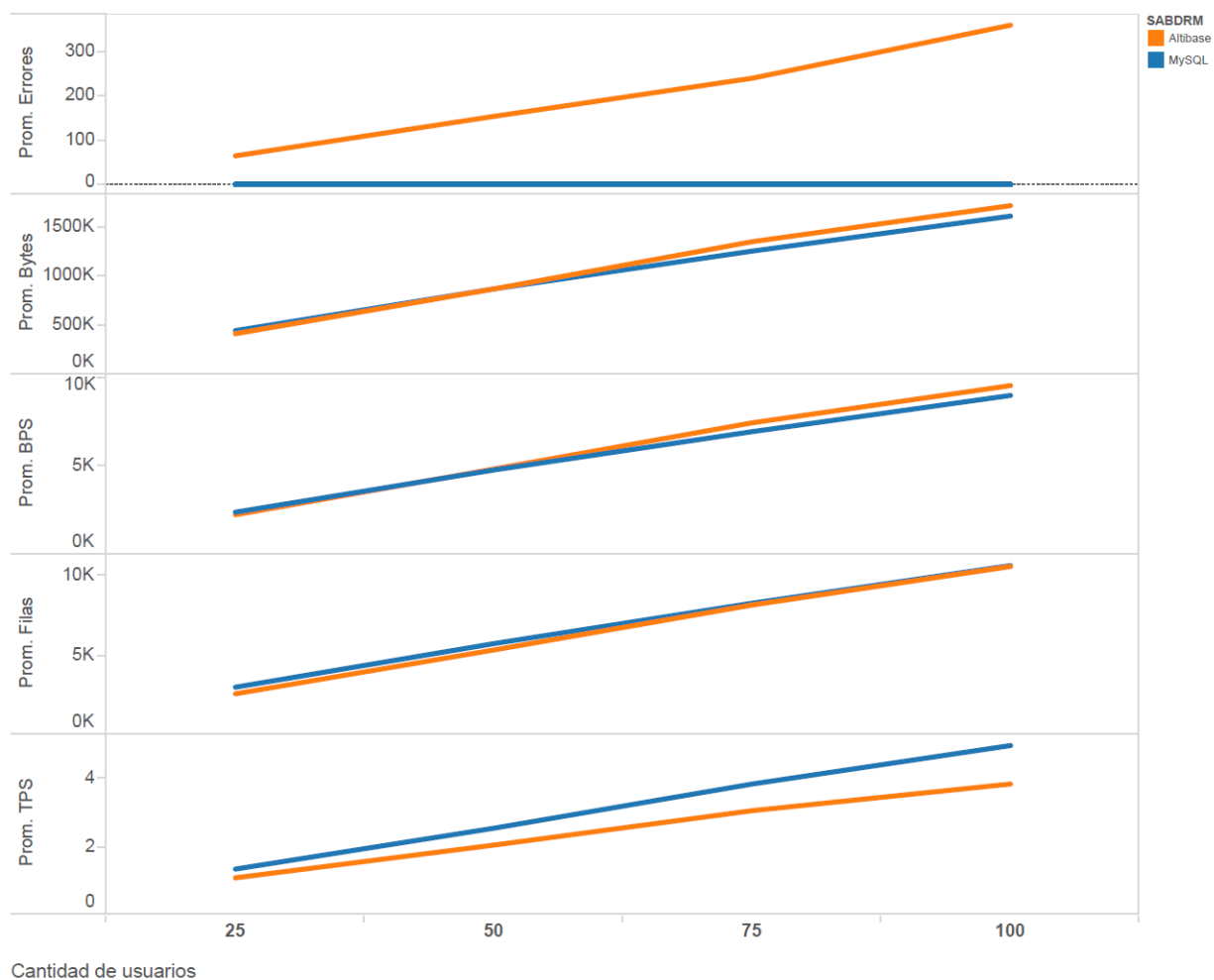


Figura 100 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 1 variación 3 y prueba 3

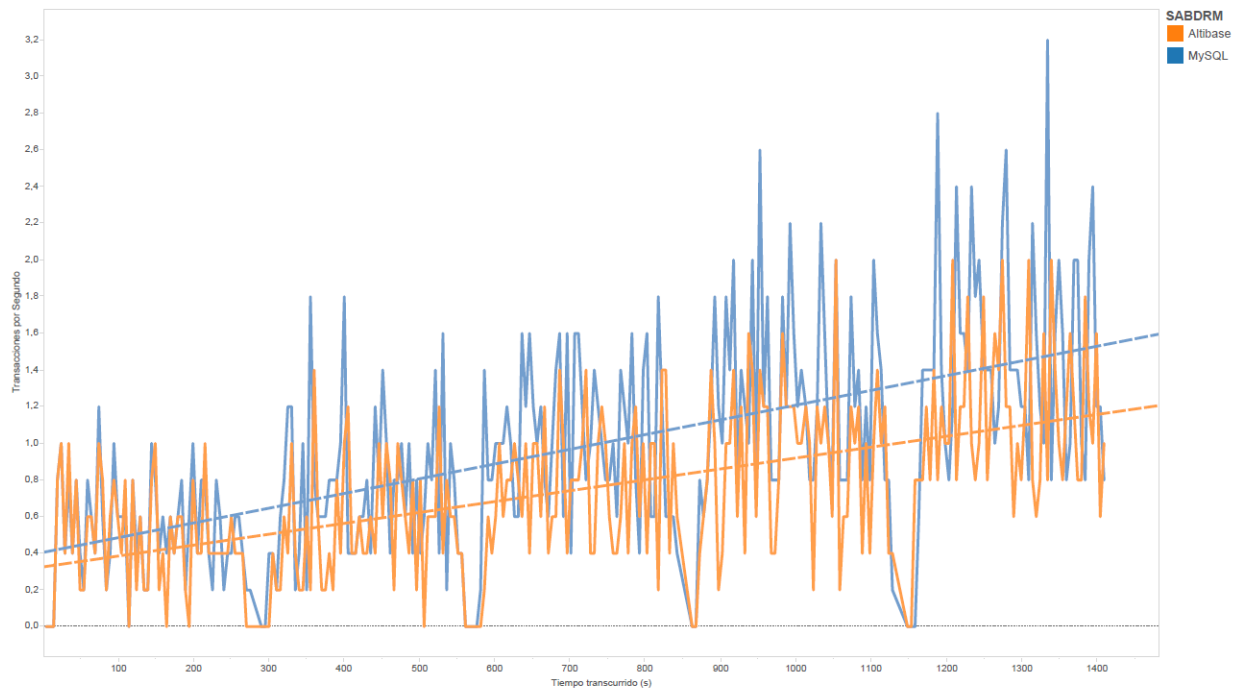
Escenario 2. 2 NODOS**Variación 1: Configuración tolerante a fallos****Prueba 1: De 10 a 30 usuarios en incrementos de 5**

Figura 101 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2, variación 1 y prueba 1

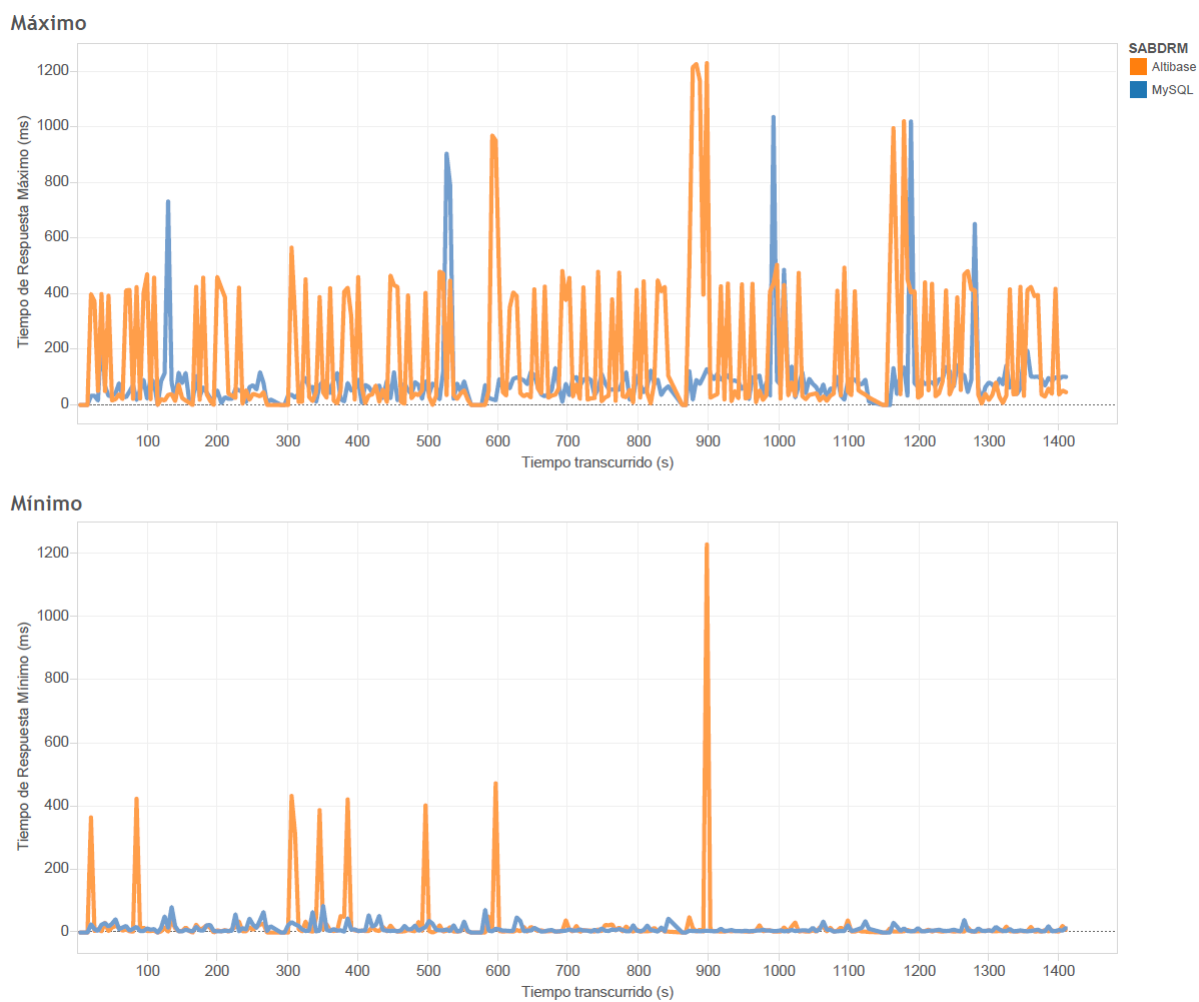


Figura 102 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2, variación 1 y prueba 1

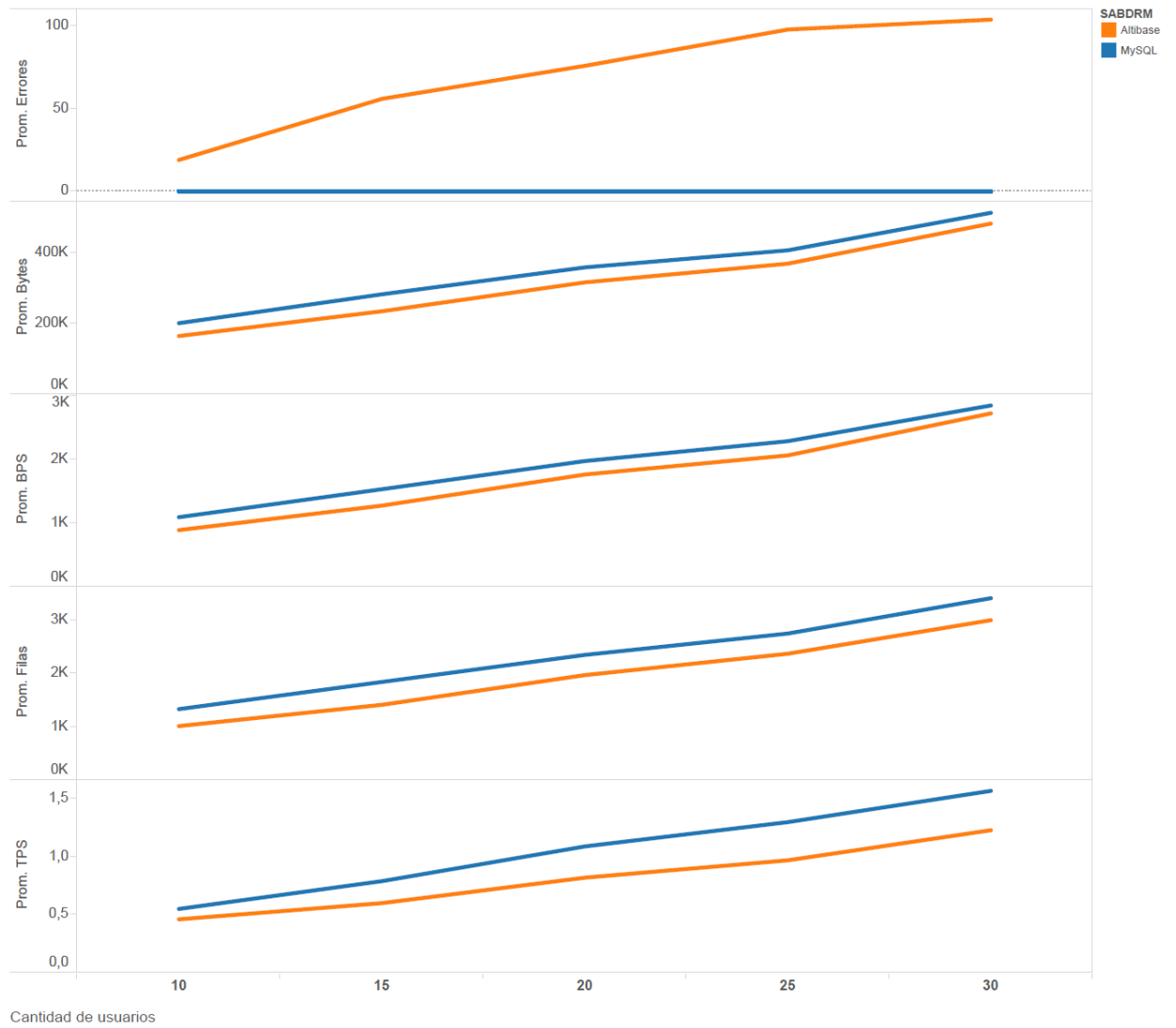


Figura 103 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2, variación 1 y prueba 1

Prueba 2: De 20 a 100 usuarios en incrementos de 20

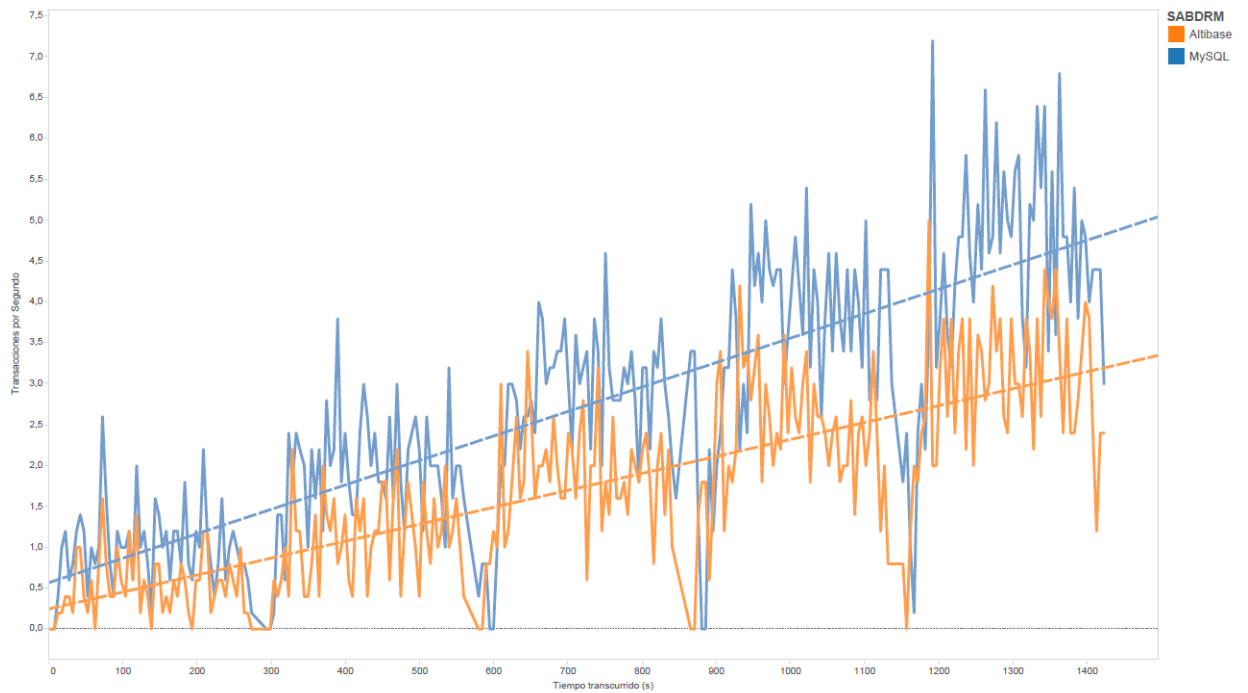


Figura 104 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2, variación 1 y prueba 2

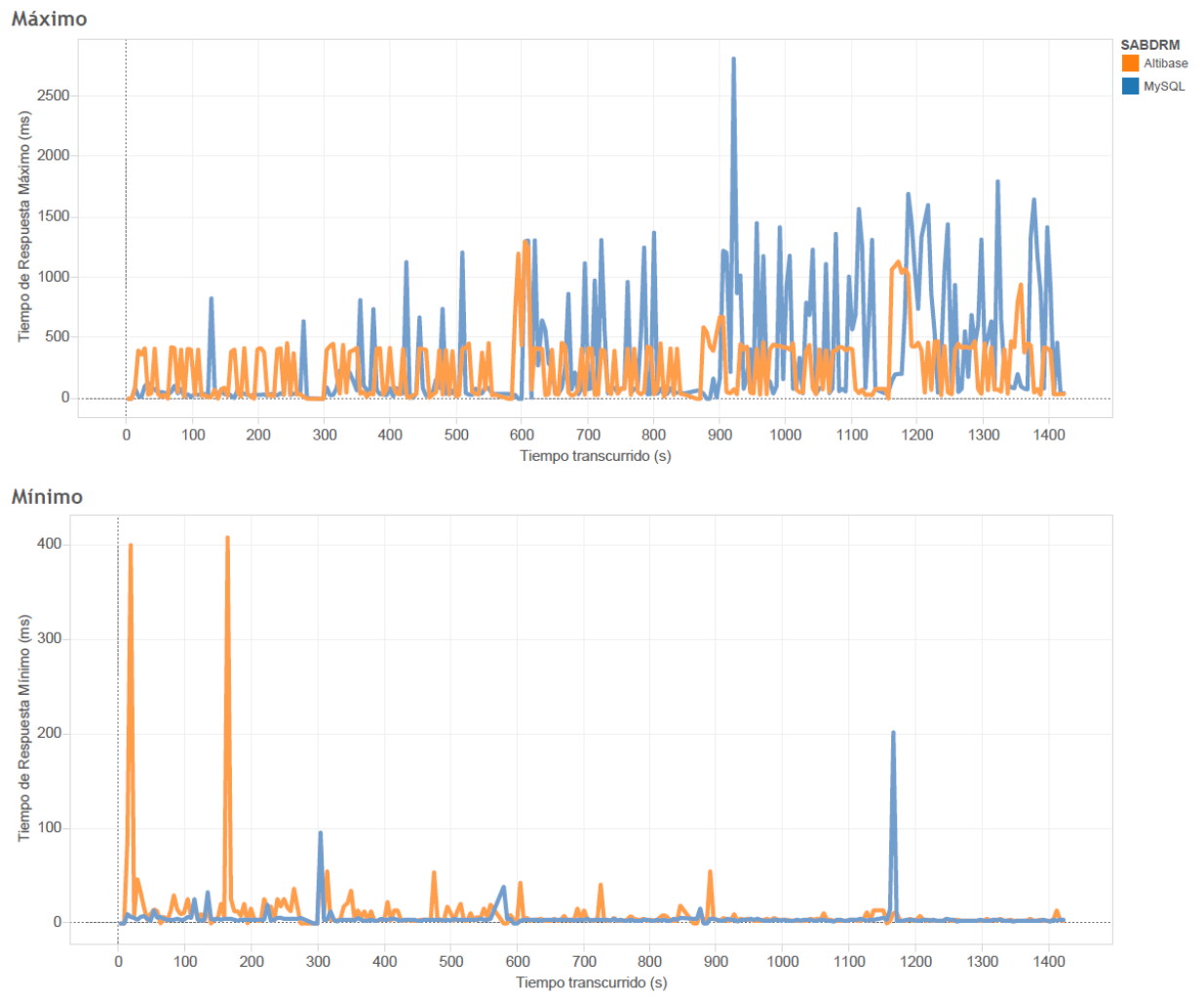


Figura 105 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2, variación 1 y prueba 2

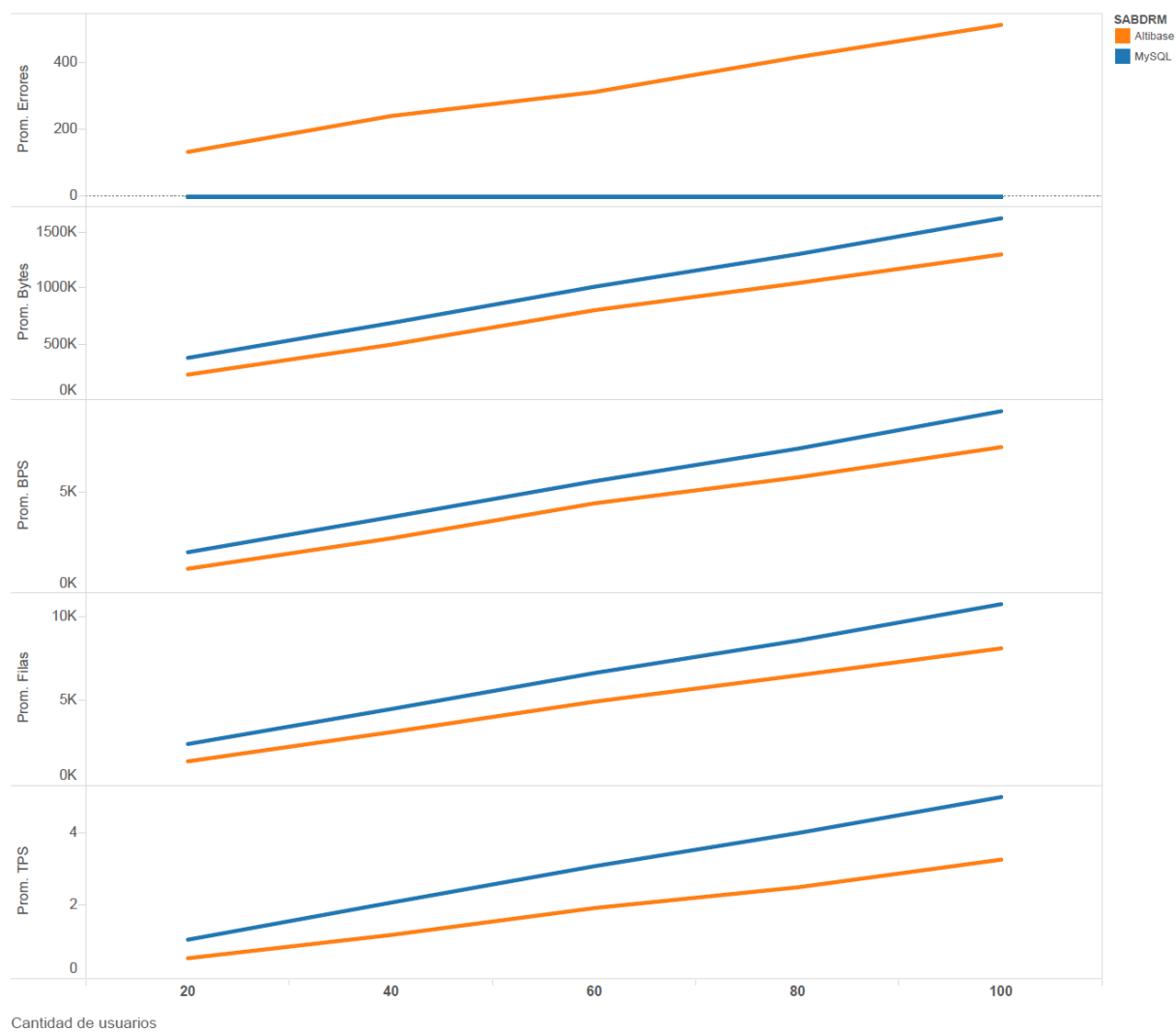


Figura 106 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2, variación 1 y prueba 2

Prueba 3: De 25 a 100 usuarios en incrementos de 25

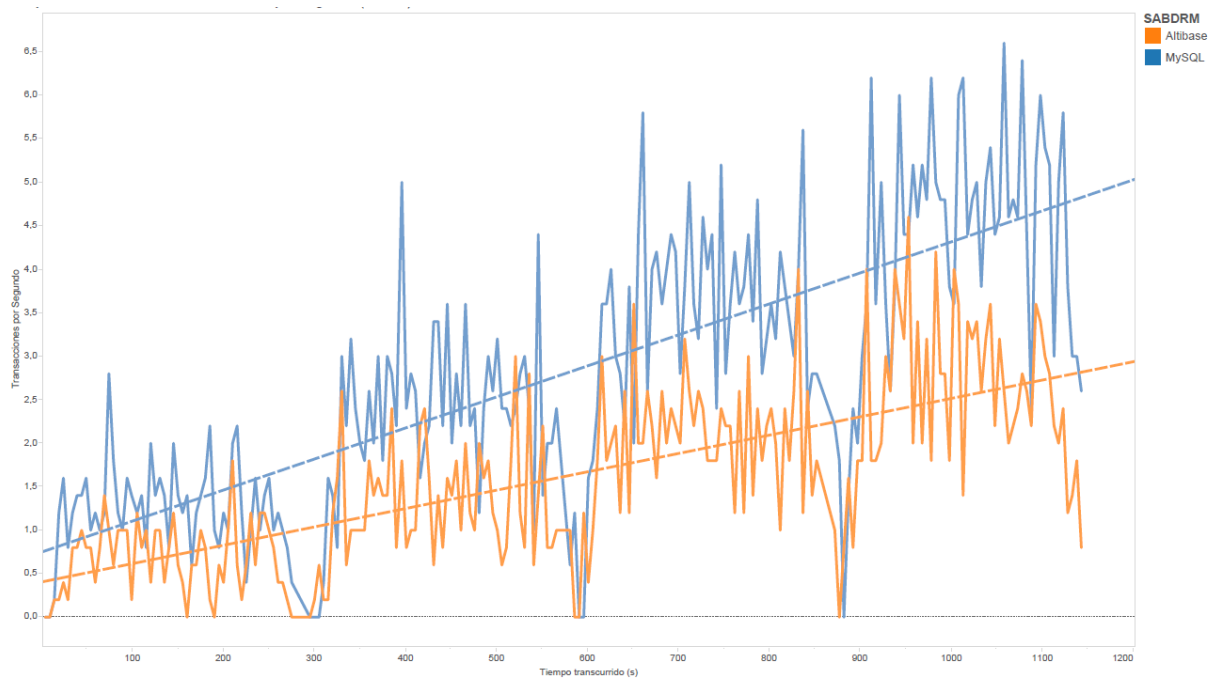


Figura 107 Promedio de Transacciones por Segundo para el escenario 2, variación 1 y prueba 3

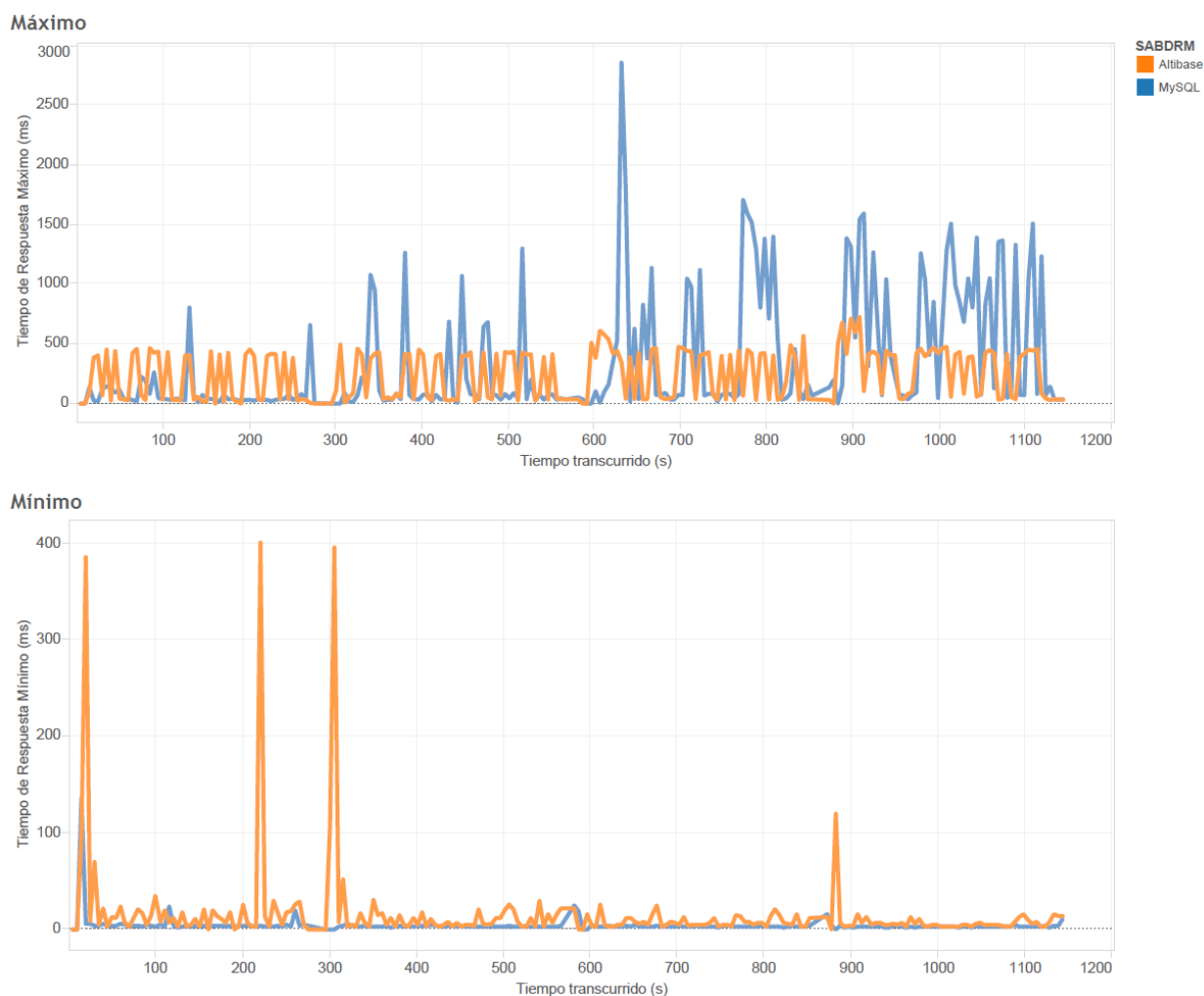


Figura 108 Tiempos de respuesta máximos y mínimos para el escenario 2, variación 1 y prueba 3

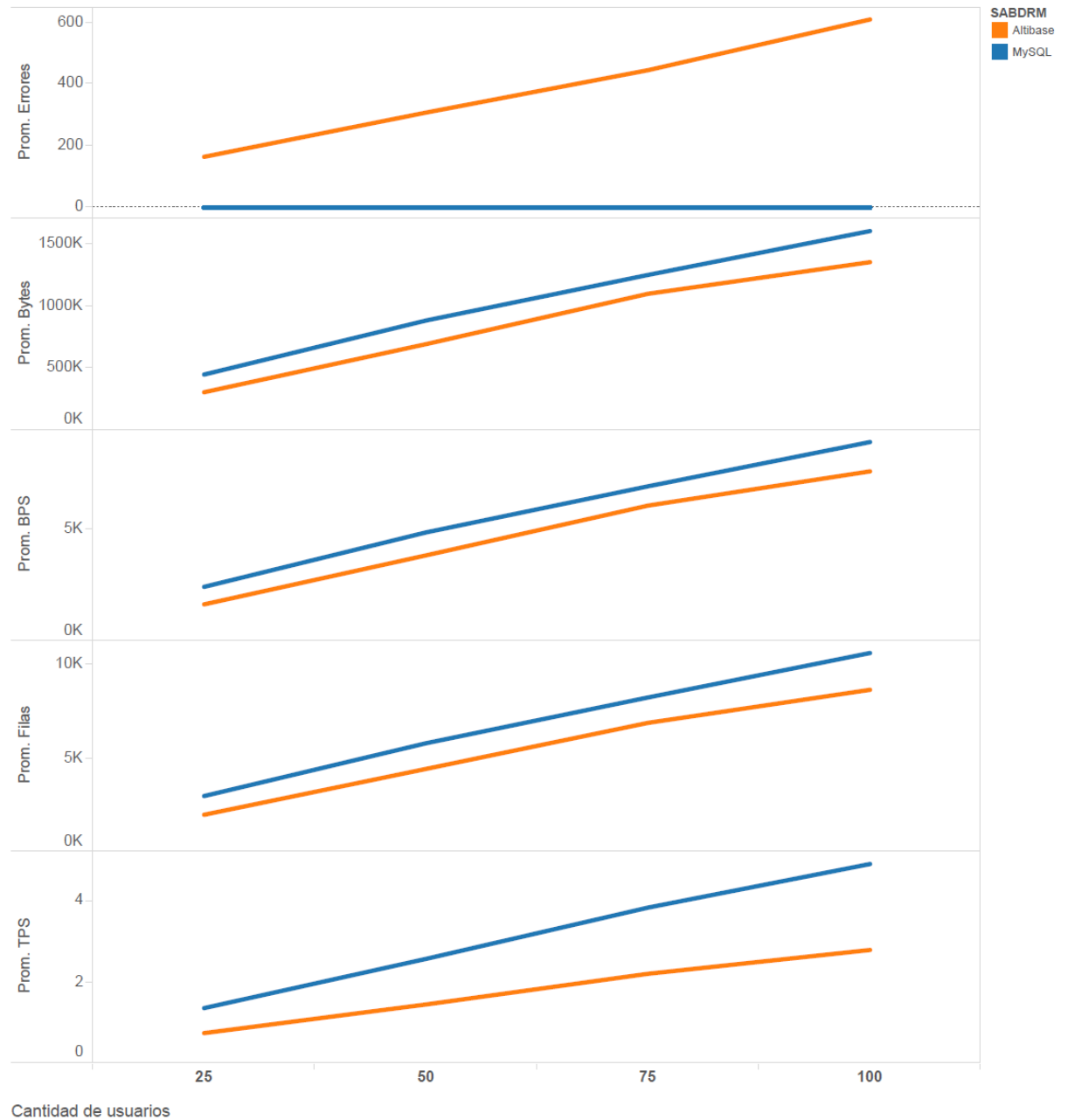


Figura 109 Gráfico integrado de indicadores de desempeño para el escenario 2, variación 1 y prueba 3