



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

MATRIZ DE DISCOS INDEPENDIENTES REDUNDANTES (RAID) Y SU APLICACIÓN

Jorge Mario Ordóñez Pérez

Jorge Raúl Lu Hernández

Asesorado por el Ing. José Francisco Lobos Mendoza

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MATRIZ DE DISCOS INDEPENDIENTES REDUNDANTES
(RAID) Y SU APLICACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE MARIO ORDOÑEZ PÉREZ

JORGE RAÚL LU HERNÁNDEZ

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ FRANCISCO LOBOS MENDOZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marlon Antonio Pérez Turk
EXAMINADORA	Inga. Floriza Felipa Ávila Pesquera
EXAMINADORA	Inga. Sonia Yolanda Castañeda Ramírez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

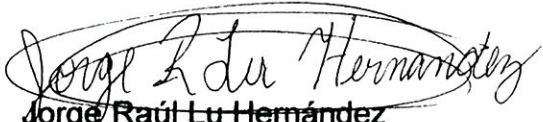
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento de los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentamos a su consideración el trabajo de graduación titulado:

MATRIZ DE DISCOS INDEPENDIENTES REDUNDANTES (RAID) Y SU APLICACIÓN

Tema que nos fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, con fecha enero de 2011.


Jorge Mario Ordoñez Pérez


Jorge Raúl Lu Hernández

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de ingeniería

Escuela de ciencias y sistemas

Guatemala, 12 de enero de 2011

Ingeniero

Carlos Alfredo Azurdia Morales

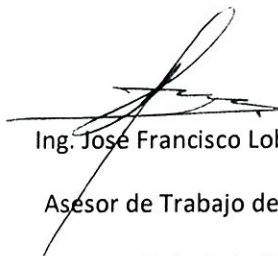
Coordinador del Área de Trabajos de Graduación

Respetable Ingeniero Azurdia:

Por este medio le informo que como asesor del trabajo de graduación de los estudiantes universitarios de la carrera de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Jorge Mario Ordóñez Pérez y Jorge Raúl Lu Hernández, carné 200517756 y 200512045, lo he revisado y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo del trabajo de graduación titulado "Matriz de discos independientes redundantes (RAID) y su aplicación".

Agradeciendo su atención a la presente.

Atentamente,



Ing. José Francisco Lobos Mendoza

Asesor de Trabajo de Graduación

Colegiado 2159



Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 20 de Julio de 2011


Ingeniero
Marlon Antonio Pérez Turk
Director de la Escuela de Ingeniería
En Ciencias y Sistemas

Respetable Ingeniero Pérez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación de los estudiantes **JORGE MARIO ORDOÑEZ PÉREZ** carné **2005-17756** y **JORGE RAÚL LU HERNÁNDEZ**, carné **2005-12045** titulado: **"MATRIZ DE DISCOS INDEPENDIENTES REDUNDANTES (RAID) Y SU APLICACIÓN"**, y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo.

Al agradecer su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atentamente,


Ing. Carlos Alfredo Azurdia
Coordinador de Privados
y Revisión de Trabajos de Graduación



E
S
C
U
E
L
A

D
E

C
I
E
N
C
I
A
S

Y

S
I
S
T
E
M
A
S

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS
TEL: 24767644

*El Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor con el visto bueno del revisor y del Licenciado en Letras, de trabajo de graduación titulado **“MATRIZ DE DISCOS INDEPENDIENTES REDUNDANTES (RAID) Y SU APLICACIÓN”**, presentado por los estudiantes JORGE MARIO ORDÓÑEZ PÉREZ Y JORGE RAÚL LU HERNÁNDEZ, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.*

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Marlon Antonio Pérez Turk
Director, Escuela de Ingeniería Ciencias y Sistemas

Guatemala, 13 de octubre 2011



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, al trabajo de graduación titulado: **MATRIZ DE DISCOS INDEPENDIENTES REDUNDANTES (RAID) Y SU APLICACIÓN**, presentado por los estudiantes universitarios, **Jorge Mario Ordoñez Pérez y Jorge Raúl Lu Hernández**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, octubre de 2011



/cc
c.c. archivo.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme sabiduría y la fortaleza necesaria que me permitió alcanzar la meta deseada.
- Mis padres** Por el apoyo e inspiración que me han brindado y ser los pilares más importantes en este logro. Gracias por su esfuerzo y apoyo.
- Mis hermanos, tíos, primos y demás familia** Ya que todos siempre han estado conmigo. Gracias por su apoyo incondicional.
- Mi novia** Ilsi Ramírez, por demostrarme con su amor que en esta vida toda meta se puede lograr.
- Mis amigos** De la universidad y cercanos a mi hogar, gracias por su apoyo incondicional.
- Ing. Francisco Lobos** Por su asesoría, tiempo, dedicación, conocimiento y apoyo en general durante el desarrollo del trabajo de graduación.

Jorge Mario Ordoñez Pérez

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres

Por el apoyo e inspiración que me han brindado siempre. Por demostrarme que el resultado del trabajo honesto no tiene precio. Por darme no sólo la vida, sino la vida que quiero tener y permitirme ser quien quiero ser. No podría pedir más.

Mis amigos

Por hacer más fácil el largo y muchas veces tortuoso viaje en la Universidad. Por compartir las alegrías y ayudar a cargar las penas. Por recordarme tantas veces que “no soy el único” sufriendo tanto la carrera.

Los catedráticos y auxiliares conscientes

Por compartir su conocimiento y guardar el prestigio de la carrera. Por ayudarme a ver que me falta mucho por aprender y demostrar que el esfuerzo extra para evitar la mediocridad vale la pena.

Ing. Francisco Lobos

Por el tiempo dedicado y sus valiosas recomendaciones para la elaboración de este trabajo.

Jorge Raúl Lu Hernández

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Matrices de discos independientes redundantes (RAID)	1
1.1.1. Conceptos.....	1
1.2. Origen.....	4
1.3. Funcionamiento	8
1.3.1. RAID por <i>software</i>	9
1.3.2. RAID por <i>hardware</i>	11
1.3.3. RAID basado en <i>firmware/driver</i>	13
1.4. Utilidad.....	13
1.5. Niveles de RAID.....	14
1.5.1. RAID 0.....	14
1.5.2. RAID 1.....	17
1.5.3. RAID 2.....	19
1.5.4. RAID 3.....	20
1.5.5. RAID 4.....	21
1.5.6. RAID 5.....	23
1.5.7. RAID 6.....	26
1.6. RAID anidadas o híbridas	29
1.6.1. RAID 1+0	30

1.6.2.	RAID 5+0	31
1.6.3.	RAID 6+0	32
1.7.	Niveles no estándar de RAID	32
1.7.1.	RAID S.....	33
1.7.2.	Linux MD RAID 10	33
1.7.3.	IBM Server RAID 1E	34
2.	CASO DE ESTUDIO	35
2.1.	Evaluación de niveles de RAID	36
2.1.1.	RAID 0	36
2.1.2.	RAID 1	37
2.1.3.	RAID 5	37
2.2.	Solución implementada	38
2.3.	Conclusiones	39
3.	PROPUESTA: CAPÍTULO DE APORTE	41
3.1.	Definición.....	41
3.2.	Análisis de los resultados	41
3.2.1.	Uso de los distintos niveles de RAID	41
3.2.2.	Implementación del RAID	43
3.2.3.	Aplicaciones instaladas en el servidor	44
3.2.4.	Rendimiento y capacidad de la RAID	46
3.3.	Modelo propuesto para la elección de un nivel de RAID	46
3.3.1.	Nodos y aristas del árbol de decisión	46
3.3.2.	Árbol de decisión	50
	CONCLUSIONES.....	53
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	57

APÉNDICES61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de una RAID por <i>software</i>	11
2.	Esquema de una RAID por <i>hardware</i>	12
3.	Distribución de datos en un RAID 0.	15
4.	Distribución de datos en un RAID 1.	17
5.	Distribución de datos en un RAID 3.	20
6.	Distribución de datos en un RAID 4.	22
7.	Distribución de datos en un RAID 5.	24
8.	Distribución de datos en un RAID 6 con esquema RAID 4.	27
9.	Distribución de datos en un RAID 6 con esquema RAID 5.	27
10.	Distribución de la capacidad de almacenamiento entre los servidores.....	35
11.	Implementación del <i>data center</i> usando RAID 0.	36
12.	Implementación del <i>data center</i> con RAID 5.	37
13.	Esquema de la solución completa.....	38
14.	Frecuencia de uso de cada nivel de RAID.	42
15.	Histograma de frecuencias de la cantidad de discos duros.	43
16.	Frecuencia de uso de cada tipo de interfaz.....	44
17.	Frecuencia de uso de aplicaciones en el servidor.....	45
18.	Árbol de decisión para la elección de un nivel de RAID.....	51

TABLAS

I.	Cantidad de discos y cálculo de capacidad para cada nivel recomendado.....	52
----	--	----

ECUACIONES

I.	Fórmula de la “Ley de Amdahl”.....	6
II.	Fórmula para calcular el MTTF de una matriz de discos.....	7
III.	Fórmula para calcular el MTTF de una RAID.....	8
V.	Capacidad de almacenamiento de RAID 0.....	16
V.	Capacidad de almacenamiento de RAID 1.....	18
VI.	Capacidad de almacenamiento de RAID 4 y RAID.....	23
VII.	Capacidad de almacenamiento de RAID 6.....	28
VIII.	Fórmula para calcular el MTTF de una RAID 1+0.....	30
IX.	Capacidad de almacenamiento de datos de RAID 1+0.....	31
X.	Fórmula para calcular el MTTF de una RAID 5+0.....	31
XI.	Capacidad de almacenamiento de RAID 5+0.....	31
XII.	MTTF de un RAID 6+0.....	32
XIII.	Capacidad de almacenamiento de RAID 6+0.....	32

GLOSARIO

Actuador	Mecanismo que mueve los cabezales de un disco duro para ubicarlos en la posición correcta para leer o escribir los datos.
Bloque	La cantidad máxima de datos que puede ser leída o escrita en un disco duro en una sola operación de E/S.
Cabezal	Dispositivo que lee o escribe los datos sobre la superficie del plato de un disco duro.
Discos de comprobación	Son los discos duros que forman parte de una RAID y que almacenan la información redundante.
Discos de datos	Son los discos que forman parte de una RAID y que están destinados a almacenar la información del usuario.
E/S	Abreviatura de “entrada/salida”. Operaciones en una computadora que leen o escriben datos que no se encuentran en los registros del procesador ni en la memoria principal. Por esa razón son más lentas.

Espejado (<i>mirroring</i>)	Consiste en almacenar los mismos datos en más de un dispositivo físico.
MTTF	<i>Mean Time To Failure</i> (tiempo medio entre fallas).
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> (tiempo medio para reparar).
Paridad (<i>parity</i>)	Tipo de información redundante que es guardada para regenerar datos perdidos por un error en el disco.
Pista	Son círculos concéntricos en cada una de las caras de los platos magnéticos que forman un disco duro. Los cabezales graban o leen datos sobre estas pistas.
Plato	Componente circular de un disco duro donde se graba la información de forma magnética.
RAID	<i>Redundant Array of Independent Disks</i> (matriz de discos independientes redundantes).
Sector	Unidad mínima de almacenamiento en un disco duro. Un sector es cada una de las secciones que componen las pistas. Típicamente tienen un tamaño de 512 bytes.

**Separación en tiras
(*striping*)**

División de los datos para escribir una parte en cada disco de datos de una RAID.

SLED

Single Large Expensive Disk (único disco grande y costoso).

RESUMEN

El contenido inicia con un marco teórico donde se definen conceptos relevantes para el tema que se trata. Por ejemplo: confiabilidad, fallas y otros similares. Luego se encuentra una presentación de las RAID. Cómo surgieron y los diferentes tipos que existen. Esta parte tiene como objetivo divulgar información sobre la tecnología existente y sus ventajas.

A continuación se muestran los resultados de una encuesta dirigida a organizaciones en la ciudad de Guatemala que cuentan con un departamento o personal especializado en tecnologías de la información. Estos dan a conocer cuál es la situación del uso de RAID en nuestro medio.

Después se presenta un modelo sugerido para la elección del nivel de RAID más conveniente. El objetivo es proponer un método sencillo para seleccionar el tipo de RAID más adecuado según las necesidades de la persona u organización. Este va seguido de las conclusiones y recomendaciones.

En los apéndices se puede encontrar una explicación básica del funcionamiento de los discos duros y las preguntas y respuestas de la encuesta realizada.

OBJETIVOS

General

Proponer un modelo que facilite la selección del tipo de RAID más adecuado según las necesidades de los usuarios.

Específicos

1. Dar a conocer conceptos que se deben tener en cuenta cuando se administran sistemas de almacenamiento de datos.
2. Recopilar y presentar información sobre el origen y los tipos de RAID.
3. Enumerar las ventajas y desventajas principales de cada tipo de RAID.
4. Investigar el uso de RAID en organizaciones de la ciudad de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Los discos duros son el dispositivo de almacenamiento secundario de uso más común en computadoras personales y servidores. Esto se debe a su conveniencia cuando se toman en cuenta todas sus características: tienen una gran capacidad de almacenamiento, su contenido se puede leer y escribir varias veces y son económicos.

La desventaja de los discos duros es su naturaleza mecánica. Están formados por piezas móviles, impulsadas por motores. Lo anterior no sólo los expone a un mayor desgaste que otras partes de una computadora; también los hace más lentos debido a limitaciones físicas como la fricción y la inercia. Cuando los componentes electrónicos como el procesador y la memoria aumentaron su velocidad de forma exponencial, los discos duros se convirtieron en el “cuello de botella” del sistema.

Un intento por mejorar la rapidez de los discos duros fueron las matrices de discos. La lectura y escritura de datos se distribuyen entre varios para que sean simultáneas. El problema es que la inclusión de más componentes en el sistema aumenta la probabilidad de fallas. Y basta con que falle un solo disco de la matriz para perder todos sus datos.

La solución fue sacrificar capacidad de almacenamiento por redundancia. Se mantuvo la mayor velocidad de transferencia de datos y se mejoró la confiabilidad reduciendo el espacio disponible para almacenar datos útiles para el usuario. Y así surgieron las especificaciones RAID.

Las RAID se empezaron a usar para dar protección adicional a los datos. También mejoran el rendimiento de las operaciones de lectura y escritura. De acuerdo a la forma de organizar los discos, se pueden variar esas características. Los diferentes tipos de RAID que se pueden conseguir de esa forma son conocidos como “niveles”.

En un principio se definieron cinco niveles estándar de RAID. Con el tiempo aparecieron otros o se combinaron para formar niveles “anidados”. Esto amplió las opciones disponibles para almacenar datos.

En este trabajo se presenta una investigación de los niveles de RAID y en qué circunstancias es recomendable usar cada uno. También se investiga el uso de RAID en algunas organizaciones para determinar si cuentan con el nivel más adecuado según sus necesidades.

El objetivo final es dar recomendaciones claras sobre qué nivel de RAID seleccionar para mejorar el rendimiento de los servidores en base a las necesidades de la organización.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Matrices de discos independientes redundantes (RAID)

RAID es la sigla de “*Redundant Array of Independent Disks*” o “matriz de discos independientes redundantes”. Se refiere a un conjunto de discos duros que son usados como una sola unidad de almacenamiento secundario.

La forma como se organizan los conjuntos de discos hace que varíen en rendimiento y confiabilidad. Las diferentes configuraciones son conocidas como “niveles RAID” (14).

1.1.1. Conceptos

Los siguientes son términos que aparecen de forma recurrente en el trabajo. Éstos se aplican de la misma manera a todos los niveles de RAID.

1.1.1.1. Fallas y errores

En inglés, la palabra *failure* (falla) se refiere a un cambio físico detectable en el *hardware* (19). Cualquier cambio no previsto es perjudicial. Suele tratarse de desperfectos que inutilizan el componente, por lo que se debe reparar o reemplazar.

La palabra *fault* (que también puede traducirse como falla) se refiere a una contingencia que interfiere con la operación normal. Éstas se consideran “duras” si existe una alta probabilidad de repetirlas o “suaves” si no son fáciles de repetir (19).

Las fallas suaves suelen deberse a eventos fortuitos, que afectan al sistema sólo un instante. Por ello su impacto no es muy grande. Basta con repetir la operación para volver a la normalidad. En contraste, las fallas duras permanecen hasta que se toman medidas para solucionarlas. Es común que sean el resultado de desperfectos en el *hardware* (*failure*), lo que obliga la reparación o reemplazo de alguno de sus componentes.

Un error es un valor incorrecto. Por ello se considera la manifestación de una falla, que puede ser suave o dura (19).

En este trabajo, la palabra “falla” significa un cambio en el *hardware*. De forma específica, un desperfecto en un disco duro. Esto implica una falla dura, que en consecuencia se hace notar como un error.

1.1.1.2. Confiabilidad

La confiabilidad de un sistema, denotada por $R(t)$, es la probabilidad condicional de que no falle en el intervalo de tiempo $[0, t]$ dado que se encuentre operacional en el instante $t = 0$ (19). Por ejemplo, si $t = 0$ es hoy, $R(10 \text{ meses})$ es la probabilidad de que continúe funcionando dentro de 10 meses sin haber sufrido fallas. Es posible confiar en el componente o sistema durante ese período.

Como simplificación se asume que la tasa de fallas es constante (19). Esto significa que se espera que el sistema funcione durante cierto tiempo sin problemas. Al terminar ese período, existe una alta probabilidad de que se presente una falla. Tras corregirla, el sistema experimenta el mismo tiempo que antes sin fallas. Luego ocurre una nueva falla que se repara y así sucesivamente.

El tiempo entre fallas se conoce como MTTF, sigla de “*Mean Time To Failure*” o “tiempo medio entre fallas”. Mientras mayor sea, las fallas que se esperan en el sistema serán menos frecuentes. Como se mencionó, se asume como constante en un sistema específico.

Cuando se presenta la falla en un disco, se asume que se reemplazará en poco tiempo. Y una vez hecho esto, su información será “reconstruida” a partir de la información redundante de los otros. El tiempo completo para este proceso es conocido como MTTR, sigla de “*Mean Time To Repair*” o “tiempo medio para reparar” y también se mide en unidades de tiempo (14).

1.1.1.3. Disponibilidad

La función de disponibilidad $A(t)$ da la probabilidad de que el sistema se encuentre disponible en el instante t . Si se promedia en el tiempo, se obtiene la fracción de tiempo durante la cual el sistema puede hacer algo útil. Por esa razón se expresa como un porcentaje que debería acercarse al 100% (19).

La disponibilidad depende de varios factores. Algunos de ellos son: suministro de energía eléctrica, conexión de red, diseño del *software*, capacidad del *hardware* y personal capacitado. La confiabilidad del *hardware* también es importante, y es donde las RAID contribuyen.

A mayor disponibilidad, aumentan los costos de forma significativa. Tanto es así que es imposible lograr el 100%. Por eso se debe tener como objetivo un porcentaje que sea el adecuado para las necesidades de la organización.

1.1.1.4. Evitación de fallas y tolerancia a fallas

Existen dos estrategias para lograr la confiabilidad y mejorar la disponibilidad: evitación de fallas y tolerancia a fallas (19).

La evitación de fallas consiste en minimizar la posibilidad de que ocurran con el uso de componentes confiables y prácticas de diseño que los conserven en buen estado. Por ejemplo mantener baja la temperatura de operación o la carga de trabajo de los componentes (19).

La tolerancia a fallas es neutralizar su efecto cuando ocurran. Se logra con redundancia de *hardware*. Si falla un componente también lo hace el módulo al que pertenece, y en consecuencia, el sistema entero. Pero si el módulo es redundante, el sistema puede continuar funcionando (19).

La redundancia es la característica principal de las RAID. Por ello pueden tolerar fallas en uno o dos de sus discos. La evitación de fallas también es útil al aumentar el MTTF.

1.2. Origen

En 1978, Norman Ken Ouchi obtuvo la patente de un sistema para recuperar información en unidades de almacenamiento fallidas (13). El sistema se valía de técnicas que serían usadas en algunos niveles de RAID.

El término RAID lo definieron David A. Patterson, Garth A. Gibson y Randy Katz, de la Universidad de Berkeley, en 1987. Este grupo estudió la posibilidad de usar dos o más discos combinados que trabajaran como un único dispositivo de almacenamiento. En 1988 publicaron el artículo “*A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)*” (referencia (24)). En él se describen los niveles RAID 1 a RAID 5.

Nótese la diferencia con la sigla actual, en la que se reemplazó la palabra “*Inexpensive*” por “*Independent*”. En ese entonces se usaban discos de gran capacidad, voluminosos y caros en *mainframes* y supercomputadoras. Eran conocidos como SLED por “*Single Large Expensive Disk*” o “único disco grande y costoso”. La idea propuesta era reemplazar cada uno por varios discos “baratos” diseñados para computadoras personales. El cambio al significado actual fue propuesto por fabricantes de RAID, que buscaban evitar que sus compradores asociaran sus productos con un precio bajo (13).

El motivo para proponer las RAID fue el rendimiento. Mientras que la velocidad de los procesadores y la capacidad de la memoria principal se duplicaban cada año, la velocidad de búsqueda de datos en los SLED mejoraba sólo un 7% en el mismo período (14). A diferencia de los primeros dos, los discos duros dependen de la mecánica además de la electrónica. Esto implica el movimiento físico de piezas, que en consecuencia están sometidas a fricción e inercia.

La “Ley de Amdahl” (ecuación 1) es una fórmula que permite comprender qué ocurre si sólo algunas partes de un sistema se hacen más veloces. Si f es la fracción de trabajo que se hace más rápido y k es el incremento de velocidad, S es la mejora real de todo el sistema.

Ecuación I. **Fórmula de la “Ley de Amdahl”**

$$S = \frac{1}{(1 - f) + f/k}$$

Fuente: Patterson, David A., et ál. *A case for redundant arrays of inexpensive disks (RAID)*. p. 4

Asumiendo que el 10% del trabajo son operaciones de E/S (que dependen del disco duro) y que sólo el procesador y la memoria principal aumentaron 10 veces su velocidad, $f = 0,9$ y $k = 10$. En ese caso el sistema completo es cinco veces más veloz. Y si $k = 100$ (procesador y memoria 100 veces más rápidos), la mejora total es apenas de 10 (14). Esto ilustra cuánto se perjudicaría el desarrollo de las computadoras si el rendimiento de los discos duros no mejoraba de forma significativa.

Al mismo tiempo, el nuevo mercado de las computadoras personales propició el surgimiento de discos duros más pequeños, con menor capacidad y más baratos que los SLED. Aunque un SLED tenía mejor rendimiento y capacidad que estos discos, también presentaba desventajas. En especial el alto consumo de energía eléctrica (6600 W contra 10 W) y un gran volumen (0,68 m³ contra 0,08 m³) (14).

Otro factor importante fue la cantidad de actuadores. Un actuador es la pieza que mueve los cabezales de lectura y escritura sobre los platos del disco y le permite encontrar la pista que va a ser usada para la operación de E/S. Así que mientras más actuadores haya, más operaciones se pueden hacer en paralelo. Un SLED tenía hasta cuatro actuadores, mientras que los discos para computadoras personales sólo uno. Pero esto podría mejorarse si un solo SLED era reemplazado por varios discos más pequeños.

El usar una “matriz” o conjunto de discos para computadoras personales permite combinar su capacidad de almacenamiento. También se tendría una mayor cantidad de operaciones de E/S, pues cada uno cuenta con su propio actuador. Y una solución así sería menos costosa y necesitaría menos espacio y energía eléctrica que un SLED.

El problema es que el sistema ahora depende del funcionamiento simultáneo de varios componentes. La fórmula del MTTF para una matriz de discos está dada por la ecuación II.

Ecuación II. **Fórmula para calcular el MTTF de una matriz de discos**

$$MTTF_{matriz\ de\ discos} = \frac{MTTF_{disco}}{Número\ de\ discos\ en\ la\ matriz}$$

Fuente: Patterson, David A., et ál. *A case for redundant arrays of inexpensive disks (RAID)*. p. 5

Como se aprecia, a mayor cantidad de discos, la confiabilidad de todo el sistema disminuye. La solución a este nuevo problema fue la redundancia. Almacenar la misma información en más de un disco de la matriz hace que se pueda recuperar aún si alguno llega a fallar. La redundancia se logra dividiendo los discos de la matriz en “grupos de confiabilidad”. A cada grupo se le asignan discos extra para guardar la información que se va a repetir. Estos se conocen como discos de comprobación.

La ecuación III da el MTTF de una RAID. En ella D es la cantidad total de discos de datos (los que no son para redundancia), G la cantidad de discos de datos por grupo y C la cantidad de discos de comprobación por grupo. Se deduce a partir de la ecuación II. En ella se sustituye el MTTF de un disco por el MTTF del grupo de confiabilidad y el número de discos por la cantidad de grupos de confiabilidad.

Ecuación III. **Fórmula para calcular el MTTF de una RAID**

$$MTTF_{RAID} = \frac{(MTTF_{disco})^2}{\left(D + C * \frac{D}{G}\right) * (G + C - 1) * MTTR}$$

Fuente: Patterson, David A., et ál. *A case for redundant arrays of inexpensive disks (RAID)*. p. 6

La capacidad de almacenamiento extra que se necesita para la redundancia puede variar desde 4% hasta 50%, dependiendo del nivel de RAID (14).

Entre los niveles estándar de RAID se encuentran los cinco que se definieron en 1988: RAID 1 a RAID 5. Luego se agregó el nivel RAID 0, que es el único que carece de redundancia. Y por último el nivel RAID 6, que puede tolerar la falla de dos de sus discos.

1.3. Funcionamiento

Los objetivos principales de una RAID son aumentar el rendimiento y la confiabilidad del almacenamiento secundario. Para ello se usa la separación de datos en “tiras” (*striping*), espejado (*mirroring*) y paridad (*parity*).

La separación de datos en tiras consiste en dividir datos lógicamente secuenciales (por ejemplo un archivo), de tal forma que los accesos a segmentos secuenciales se hagan a dispositivos de almacenamiento diferentes (17). El propósito es dividir una sola operación de E/S en varias más pequeñas que se ejecuten en paralelo. De ese modo se mejora la velocidad de acceso.

El espejado es la replicación de volúmenes de disco lógicos en discos físicos separados, en tiempo real, para asegurar la disponibilidad continua (20). De ese modo si uno de los discos físicos falla, la información puede recuperarse de los otros.

La paridad se calcula usando el operador lógico “o exclusivo” o XOR. Éste se aplica bit por bit a dos o más datos de igual longitud. El resultado es otro conjunto de bits con la misma longitud que se almacena por separado. En caso que se pierda cualquiera de los datos, puede recuperarse aplicando de nuevo el operador XOR a los restantes y el resultado almacenado. El objetivo es el mismo que el espejado. La diferencia es que puede usarse para proteger varios datos diferentes, pero requiere de procesamiento extra.

Debido a que los datos se deben distribuir entre diferentes discos físicos, se necesita un controlador especial para lograrlo. El controlador también se encarga de calcular la paridad, recuperar datos perdidos si ha fallado algún disco y presentar la RAID como un solo volumen al sistema operativo o las aplicaciones. Y puede estar implementado en *hardware*, *software* o ambos.

1.3.1. RAID por *software*

Los controladores por *software* son propios del sistema operativo. Usan discos duros que no tienen soporte para RAID, o incluso las particiones de un mismo disco físico.

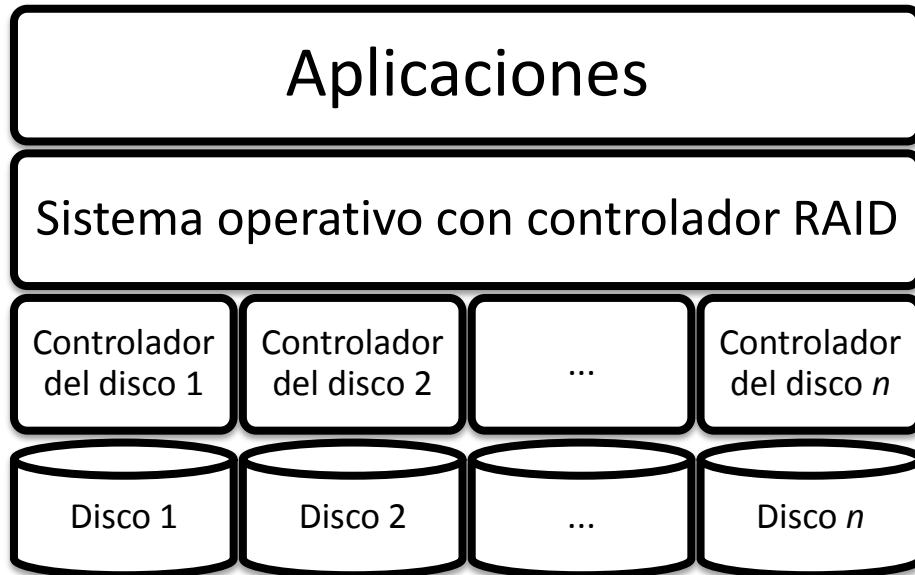
Por lo general las RAID por *software* eran más lentas que las RAID por *hardware*. La misma computadora y su sistema operativo deben dedicar recursos a las funciones necesarias como la distribución de datos y el cálculo de paridad. Sin embargo, la tendencia ha ido cambiando debido a la gran velocidad de los procesadores modernos. Otro factor que puede mejorar el rendimiento es el uso de algoritmos más sofisticados (13).

Un punto a favor de las RAID por *software* es que son más fáciles de mover a otra computadora. Sólo se requiere que tenga el mismo sistema operativo, pues no dependen de *hardware* específico (13).

Una desventaja de las RAID por *software* es que son difíciles de compartir entre sistemas operativos diferentes, pues suelen usar su propio sistema de archivos. Y también es posible que el BIOS o el cargador de arranque (*bootloader*) no puedan cargar el sistema operativo si el disco de arranque usual llega a fallar. En ese caso se necesita la intervención de un operador para poder iniciar el sistema.

La figura 1 ilustra la distribución de los componentes de una RAID por *software*. Cada disco físico tiene su propio controlador, que carece de soporte para RAID. Todos los discos se conectan a una sola computadora, cuyo sistema operativo provee el controlador RAID. Éste presenta un sólo volumen lógico a las aplicaciones. Las RAID por *software* facilitan la independencia del *hardware*, pero son dependientes del sistema operativo.

Figura 1. Esquema de una RAID por *software*



Fuente: elaboración propia.

1.3.2. RAID por *hardware*

Los controladores por *hardware* pueden ser tarjetas PCI o estar integrados en la placa base (*motherboard*). También pueden ser parte de un sistema RAID externo conectado a la computadora o su red. Aunque soportan diferentes interfaces de disco incluyendo IDE/ATA, SATA, SCSI, SSA y canal de fibra, el diseño de los discos suele ser propietario (13).

En general ofrecen un mejor rendimiento porque cuentan con su propio procesador y en la mayoría de los casos un caché. Esto también libera al procesador de la computadora de cualquier trabajo extra (13).

Una gran ventaja que tienen las RAID por *hardware* es que permiten el reemplazo de sus discos "en caliente", por lo que no es necesario detener el sistema (13).

Algunos problemas de usar *hardware* es que en algunos casos los datos se pierden al fallar el controlador. Y si éste debe ser reemplazado, se necesita otro idéntico. Además los controladores más baratos pueden tener un rendimiento menor que las RAID por *software*, pues su procesador es más lento que el de la computadora donde se usan (13).

La figura 2 muestra cómo el controlador de *hardware* se ubica entre los discos duros y el sistema operativo. El controlador presenta al conjunto de discos como un solo volumen lógico (13). Por tal razón las RAID por *hardware* proporcionan independencia del sistema operativo, pero son dependientes del *hardware*.

Figura 2. Esquema de una RAID por *hardware*



Fuente: elaboración propia.

1.3.3. RAID basado en *firmware/driver*

Se conocen como “controladores RAID” y son más baratos que los controladores por *hardware*. Consisten en un chip controlador de disco estándar sin soporte para RAID con *firmware* y *drivers* especiales (13).

El controlador por *firmware* prepara la RAID en las primeras etapas de carga del sistema operativo. Cuando éste está cargado, son los *drivers* los que implementan el RAID. Estos controladores no poseen procesador propio. Al igual que las RAID por *software*, usan el procesador de la computadora (13).

1.4. Utilidad

Como se mencionó, las RAID se usan para mejorar el rendimiento y la confiabilidad del almacenamiento secundario.

Mantienen la integridad de los datos aún si uno de los medios físicos donde se encuentran almacenados sufre algún desperfecto. Pero esto no elimina la necesidad de realizar copias de seguridad.

Las RAID sólo son un medio de almacenamiento de los datos, como cualquier volumen. Usan el sistema de archivos con el que se les dé formato. Almacenan y recuperan los datos que el sistema operativo o las aplicaciones soliciten. Su contenido siempre puede resultar dañado por errores humanos, de las aplicaciones o del sistema operativo. La protección lógica de los datos está más allá del alcance de las RAID y es responsabilidad de los usuarios, las aplicaciones y el sistema operativo.

1.5. Niveles de RAID

Un nivel de RAID es una alternativa para configurar la matriz de discos. En cada uno existe un compromiso entre redundancia de datos, rendimiento y capacidad de almacenamiento.

Un error común es creer que un nivel identificado con un número más alto es una mejor opción. Los niveles no son versiones progresivas, sólo son una forma de identificar las diferentes opciones de organización de los datos. Cada uno tiene ventajas y desventajas que deben ser consideradas al momento de elegir cuál es el mejor para cubrir las necesidades de los usuarios.

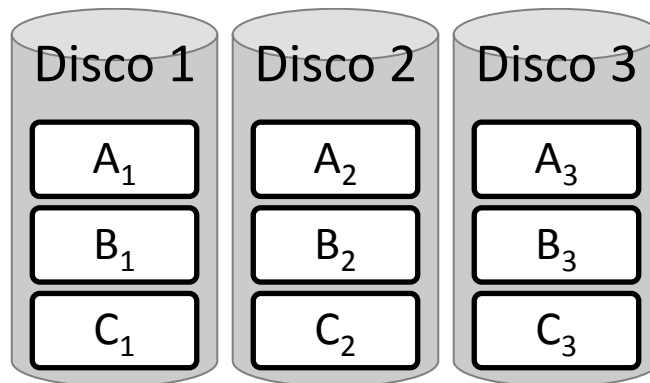
1.5.1. RAID 0

Este es el único nivel que carece de redundancia. Por tal razón podría no considerarse un “verdadero” RAID, pero tiene características que lo hacen parecer uno. Por ejemplo el uso de varios discos y la necesidad de un controlador especial para distribuir los datos entre ellos (13).

Para crearlo se necesitan al menos dos discos, que pueden ser de diferente tamaño. Sin embargo, el espacio útil de cada uno de ellos se limita al de menor capacidad (7). La razón es la distribución equitativa de los datos. Si por ejemplo se usan dos discos de 300 GB y otro de 100 GB, el RAID 0 tendrá una capacidad de sólo 300 GB (100 GB por cada disco).

Este nivel se vale de la separación de datos en tiras para mejorar el rendimiento. Éstos se separan en bloques, que son distribuidos entre todos los discos formando las tiras. La cantidad de bloques está dada por un parámetro denominado “tamaño de tira” (13). La figura 3 muestra la distribución de datos en un RAID 0 compuesto por tres discos. A, B y C son tres tiras de datos, cada una dividida en bloques diferentes que se distribuyen entre todos los discos.

Figura 3. **Distribución de datos en un RAID 0**



Fuente: elaboración propia.

Al dividir los datos en bloques, cada disco debe leer o escribir menos. Y además esto se hace de forma simultánea. Por eso este nivel tiene el mejor rendimiento de todos. El tiempo que toma cada operación es inversamente proporcional a la cantidad de discos.

Aunque no calcular la paridad es otra ventaja a favor del rendimiento de RAID 0, este nivel no ofrece tolerancia a fallos. La confiabilidad también es inversamente proporcional a la cantidad de discos. Como los datos se encuentran distribuidos en forma de bloques entre todos ellos, basta que falle uno solo para que se pierda toda la información. El MTTF de este nivel está dado por la ecuación II, pues se trata de una matriz de discos sin redundancia.

La ecuación IV es la fórmula para calcular la capacidad de almacenamiento de un RAID 0. N es la cantidad de discos usados y $Capacidad_{disco}$ es la capacidad de almacenamiento del disco más pequeño.

Ecuación IV. Capacidad de almacenamiento de RAID 0

$$Capacidad_{RAID\ 0} = N * Capacidad_{disco}$$

Fuente: elaboración propia.

1.5.1.1. Ventajas

- Efectivo para operaciones secuenciales con archivos de gran tamaño
- Mayor velocidad de acceso a datos en operaciones de lectura y escritura
- El rendimiento aumenta junto con la cantidad de discos
- Posibilita crear volúmenes grandes a partir de varios discos pequeños

1.5.1.2. Desventajas

- No proporciona redundancia de datos. El fallo de cualquier disco de la matriz tiene como resultado la pérdida de estos
- Las posibilidades de recuperar información en una matriz con un disco averiado se reducen a cero

1.5.1.3. Aplicaciones recomendadas

- Edición y producción de video
- Edición de imágenes
- Cualquier aplicación que requiera gran ancho de banda

1.5.1.4. Aplicaciones no recomendadas

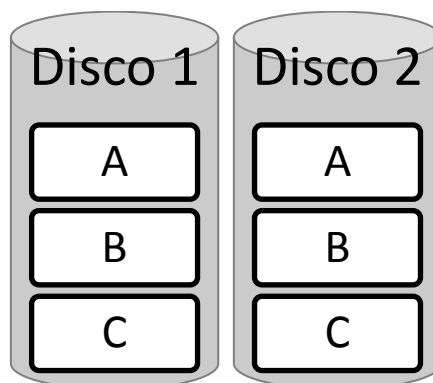
- Instalación del sistema operativo
- Almacenamiento de copias de seguridad

1.5.2. RAID 1

Este nivel se vale del espejado para lograr redundancia. Los datos que se escriben en un disco se replican de forma idéntica en otro, que es el disco de comprobación. Se necesita un mínimo de dos discos que pueden ser de diferente tamaño. Pero se debe tener en cuenta que la capacidad total del RAID 1 será la del disco más pequeño.

La figura 4 muestra cómo se reparten los datos en un RAID 1. Los bloques A, B y C en el disco 1 se replican de forma simultánea en el disco 2.

Figura 4. Distribución de datos en un RAID 1



Fuente: elaboración propia.

La forma de replicar los datos evita que se tengan mejoras en la escritura, pues se escriben completos en cada disco (aunque al mismo tiempo). Pero en las lecturas, si el controlador lo soporta, se puede obtener una fracción de los datos de cada disco de forma similar a RAID 0. Por eso RAID 1 es una buena alternativa cuando la cantidad de lecturas supera por mucho la cantidad de escrituras.

Se considera una opción costosa, pues la capacidad total de un RAID 1 es sólo la del menor de los discos que lo conforman (ecuación V). Sin embargo se logra una gran confiabilidad. Para perder los datos es necesario que fallen todos los discos.

Ecuación V. **Capacidad de almacenamiento de RAID 1**

$$Capacidad_{RAID\ 1} = Capacidad_{disco}$$

Fuente: elaboración propia.

1.5.2.1. Ventajas

- El rendimiento de lectura se incrementa con la cantidad de discos
- Tolerancia de fallos, ya que aplica redundancia. En el caso de fallo en uno de los discos, se puede seguir trabajando con el otro y sustituir el dañado

1.5.2.2. Desventajas

- Más costoso que RAID 0, ya que se requiere el doble de espacio
- No mejora el rendimiento de la escritura de datos

1.5.2.3. Aplicaciones recomendadas

- Contabilidad, nómina, finanzas
- Como fuente de copias de seguridad. Uno de los discos se puede desactivar para copiar todo su contenido
- Minería de datos, debido a la gran cantidad de lecturas contra la de escrituras

1.5.2.4. Aplicaciones no recomendadas

- Cuando se requiere la escritura constante de datos

1.5.3. RAID 2

Éste es el único nivel original que no se usa. Permite tasas de transferencias bastante altas. Pero en teoría, necesita 39 discos en un sistema moderno: 32 se usarían para almacenar los bits individuales que forman cada palabra y siete se usarían para la corrección de errores (7).

Funciona dividiendo los datos a nivel de bits, escribiendo cada uno en un disco diferente. Para la integridad de los datos usa códigos de Hamming (7). Estos permiten detectar errores simultáneos en dos bits y reparar los errores de un solo bit.

1.5.3.1. Ventajas

- Una elevada tasa de transferencia de datos
- Se pueden recuperar datos dañados gracias a los discos de código de error

1.5.3.2. Desventajas

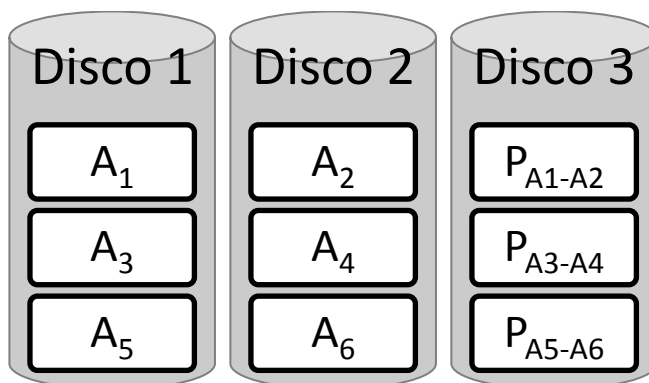
- No ha sido implementado en productos comerciales, lo que también se debe a que requiere discos especiales cuya rotación esté sincronizada

1.5.4. RAID 3

Funciona de forma similar a RAID 2, pero divide los datos a nivel de bytes, en lugar de bits. Cada byte se va escribiendo en un disco diferente. Esto lo hace más práctico y al mismo tiempo ofrece tasas de transferencia elevadas.

Cuenta con discos de datos, donde se almacenan los bytes, y otro dedicado a almacenar la paridad. La figura 5 muestra cómo los primeros seis bytes del bloque A se reparten entre los dos discos de datos. El disco de comprobación almacena la paridad de la tira de bytes.

Figura 5. Distribución de datos en un RAID 3



Fuente: elaboración propia.

Se necesita un mínimo de tres discos. Siempre se debe dedicar uno a guardar la paridad de los demás. Esto permite recuperar los datos en caso de que falle alguno de ellos.

El problema con este nivel es que no permite la lectura de bloques simultáneos. Para leer uno es necesario esperar que concluya la lectura del anterior (7). Lo que sí logra es acelerar la lectura de un bloque al tomar sus bytes de diferentes discos al mismo tiempo.

1.5.4.1. Ventajas

- Ofrece altas tasas de transferencia
- Alta confiabilidad y disponibilidad
- Costo de redundancia inferior que RAID 1
- Permite la reconstrucción de información en caso de fallas

1.5.4.2. Desventajas

- No puede servir en aquellos entornos en los que muchos usuarios desean leer y escribir múltiples registros aleatorios. Las peticiones de operaciones de E/S simultáneas pueden sobrecargar y ralentizar el sistema
- Si se pierde el disco de paridad, se pierde toda la información redundante
- Necesita que la rotación de los discos esté sincronizada

1.5.5. RAID 4

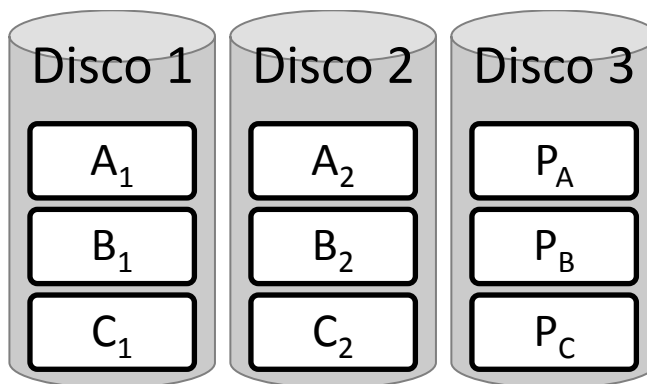
En RAID 4 los datos se dividen a nivel de bloques. De ese modo es posible atender diferentes solicitudes de lectura o escritura al mismo tiempo. Sólo es necesario que se trate de bloques en discos diferentes. Además cuenta con un disco dedicado a almacenar la paridad. El mantener la redundancia en un sólo disco es lo único que lo diferencia de RAID 5.

Sin importar la relación entre los bloques, estos se distribuyen en “tiras” o divisiones. Estas son conjuntos de bloques, donde cada uno se encuentra en un disco distinto. Uno de esos bloques está dedicado a almacenar la paridad de los demás.

La paridad permite reconstruir un bloque en caso de que falle alguno de los discos de datos. Por supuesto que esta operación causa una pérdida de rendimiento. Y si el disco de comprobación falla, los discos de datos siguen funcionando de manera normal, pero sin redundancia. En cualquier caso, el fallo de un segundo disco provoca la pérdida de todos los datos.

Se necesitan por lo menos tres discos para crear un RAID 4. Siempre hay un disco de comprobación donde sólo se guardan bloques de paridad. Los datos se dividen en bloques que se distribuyen entre los demás discos, pasando a formar parte de alguna de las tiras. La figura 6 muestra las tiras A, B y C y su paridad en el disco de comprobación.

Figura 6. **Distribución de datos en un RAID 4**



Fuente: elaboración propia.

Aunque los discos de datos pueden funcionar de forma independiente, el disco de comprobación se convierte en un cuello de botella. Además sufre un mayor desgaste al ser el más usado.

La ecuación VI da la capacidad de almacenamiento de RAID 4. Como se aprecia, todos los discos, excepto uno, son aprovechados.

Ecuación VI. **Capacidad de almacenamiento de RAID 4 y RAID 5**

$$Capacidad_{RAID\ 4/5} = (N - 1) * Capacidad_{disco}$$

Fuente: elaboración propia.

1.5.5.1. Ventajas

- Provee buen rendimiento en las escrituras de datos
- Mantiene integridad de los datos

1.5.5.2. Desventajas

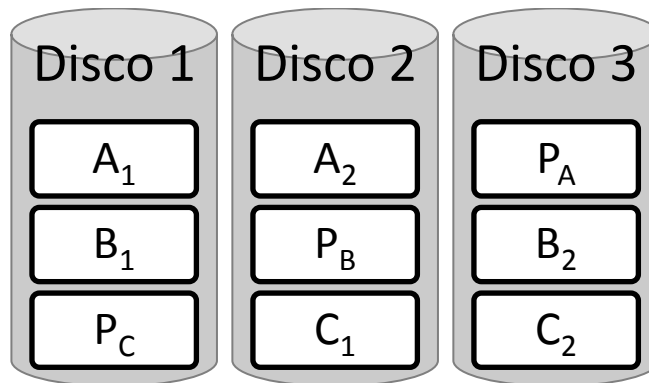
- El disco de paridad se convierte en un cuello de botella, pues se modifica siempre que se escriban datos en cualquiera de los demás discos

1.5.6. RAID 5

Este es similar a RAID 4. También divide los datos en bloques y los distribuye en tiras. La única diferencia es que no existe un disco de comprobación dedicado a almacenar los bloques de paridad. Estos se encuentran intercalados con los bloques de datos en cada disco.

La figura 7 ilustra la distribución de las tiras y sus bloques de datos y paridad. Estos últimos se encuentran de manera “escalonada” a través de todos los discos de la matriz. No hay discos de datos o comprobación específicos pues todos cumplen ambas funciones.

Figura 7. **Distribución de datos en un RAID 5**



Fuente: elaboración propia.

RAID 5 es popular debido a su bajo coste de redundancia. Permite aprovechar hasta el 80% de la capacidad de almacenamiento de todos los discos. Se puede implementar con un mínimo de tres.

Al igual que RAID 4 puede tolerar la falla de uno de sus discos, mas no la de un segundo de forma simultánea. Su gran ventaja respecto al anterior es que no padece del efecto de cuello de botella, pues la paridad se encuentra distribuida entre todos los discos.

RAID 5 es el nivel más eficaz y de uso preferente para las aplicaciones empresariales y de misión crítica. Comparado con otros niveles con tolerancia a fallos, RAID 5 ofrece la mejor relación rendimiento-costos en un entorno con varias unidades. Este nivel está especialmente indicado para trabajar con sistemas operativos multiusuario.

La capacidad de almacenamiento de RAID 5 también está dada por la ecuación VI.

1.5.6.1. Ventajas

- Mayor tasa de transacciones de lectura. De media a pobre tasa de transacciones de escritura, especialmente cuando el CPU realiza chequeos de paridad por *software*
- Es el nivel de RAID más versátil

1.5.6.2. Desventajas

- Diseño de controladores más complejo
- Dificultad para reconstruir en el caso de fallo de una unidad de disco (comparado con el RAID 1)
- En bloques de datos individuales, la tasa de transferencia es la misma que en un disco individual
- Alta sobrecarga para escrituras pequeñas. Para cambiar un byte en un archivo, se lee toda la tira, se modifica el byte, se recalcula la paridad y la tira se vuelve a escribir

1.5.7. RAID 6

Aunque RAID 5 protege los datos contra la falla de un disco, aún existen problemas que pueden provocar su pérdida parcial o total. Algunas causas son: fallas correlacionadas, el creciente tiempo de recuperación, el error humano y la falla de un sólo bloque en un segundo disco.

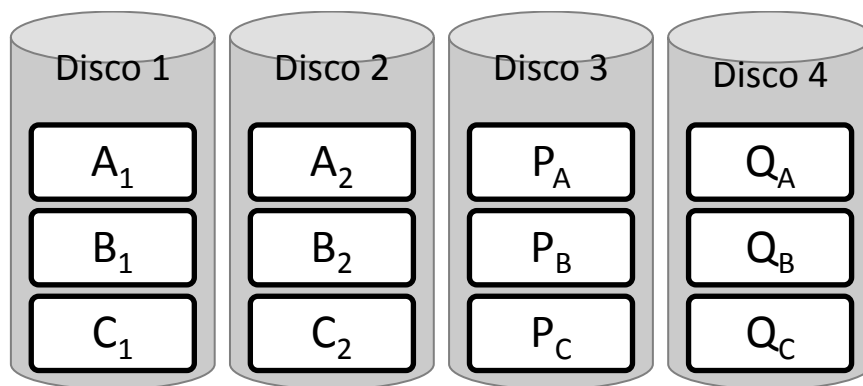
Las fallas correlacionadas son un fenómeno en el que más de un disco sufre desperfectos, debido a que todos tienen edad y características similares. El creciente tiempo de recuperación es resultado de la gran capacidad de almacenamiento de los discos duros. Es posible que la reconstrucción de los datos en uno de repuesto tome días, durante los cuales no se tiene redundancia. El error humano se refiere al reemplazo del disco equivocado. Y la falla del bloque en un segundo disco es que exista un bloque dañado en un disco cuando otro ya ha fallado.

RAID 6 es el único que tolera las fallas en dos de sus discos. A diferencia de los otros niveles estándar, no existe una especificación formal de cómo se deben codificar y almacenar los datos (16). De manera general funciona como RAID 4 o RAID 5, con la diferencia de tener dos bloques de paridad por cada tira de datos. Como cada bloque se calcula de manera diferente, una combinación habitual es el uso de XOR y la codificación Reed-Solomon. Esta última es muy usada pues no usa algoritmos patentados.

Los niveles que usan sólo XOR (RAID 3, RAID 4 y RAID 5) necesitan al menos tres discos. En cada tira dos bloques son los operadores y el tercero almacena el resultado. RAID 6 necesita al menos cuatro discos. El cuarto bloque de cada tira almacena el resultado del segundo método de cálculo de paridad.

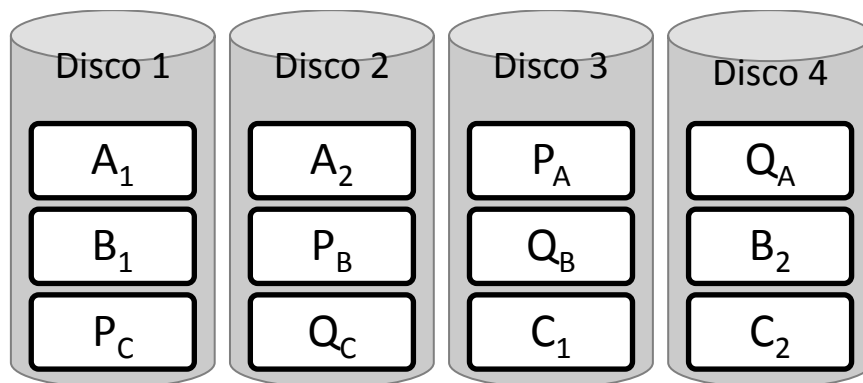
La figura 8 muestra un RAID 6 con discos dedicados a datos y paridad. Como se ve, en cada tira (A, B y C), hay dos bloques de paridad (P y Q) en lugar de uno. La figura 9 muestra otro RAID 6 que distribuye los bloques de paridad en todos los discos. El segundo es más usado por las mismas ventajas de RAID 5 sobre RAID 4.

Figura 8. **Distribución de datos en una RAID 6 con distribución RAID 4**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Distribución de datos en una RAID 6 con distribución RAID 5**



Fuente: elaboración propia.

Como es de esperarse, el costo de la redundancia en un RAID 6 es mayor que en un RAID 5. El rendimiento para las lecturas puede ser el mismo, pero es peor para las escrituras pues la paridad se calcula dos veces. La operación XOR es bastante sencilla, pero el segundo método de cálculo de paridad requiere una mayor capacidad de procesamiento (13).

La ecuación VII permite calcular la capacidad de almacenamiento de RAID 6. Bastante similar a RAID 4 y RAID 5, pero usando dos discos para almacenar la paridad.

Ecuación VII. **Capacidad de almacenamiento de RAID 6**

$$Capacidad_{RAID\ 6} = (N - 2) * Capacidad_{disco}$$

Fuente: elaboración propia.

1.5.7.1. Ventajas

- Mayor confiabilidad, al tolerar la falla de dos discos en lugar de uno sólo

1.5.7.2. Desventajas

- El costo de la redundancia es mayor que en RAID 5
- Requiere una mayor capacidad de procesamiento, ya sea que se implemente por *hardware* o *software*
- El rendimiento de las escrituras se ve aún más penalizado que en RAID 5

1.6. RAID anidadas o híbridas

Si se conceptualiza una RAID como una matriz de discos, es posible crear otra donde cada uno de sus elementos es en sí una matriz. Así es como surgen estas RAID anidadas o híbridas. La motivación para crearlas se debe al rendimiento de las operaciones de E/S. Las RAID unidimensionales están limitadas a un solo canal de E/S (15).

Una forma de implementarlas es el método RAID-M (por *RAID Matrix*), que permite obtener RAID bidimensionales masivas sin necesidad de circuitos especiales. Consiste en crear varias RAID del mismo nivel con *hardware*, todas con la misma cantidad y tipo de discos. Luego se puede tomar cada RAID creado como un sólo disco y combinarlos en un RAID más grande utilizando *software* (15).

Para identificar el nivel de las RAID anidadas se usa la notación RAID $A+B$. A indica el tipo de nivel “interior” y B el “exterior”, en el que se integran las RAID del nivel A . Por ejemplo, RAID 0+1 indica varios RAID 0 unidos en un RAID 1.

El uso común de las RAID anidadas es aumentar el rendimiento de niveles redundantes. Por ello es habitual encontrar combinaciones como RAID 1+0 o 5+0 (12). Algunos vendedores omiten el símbolo “+” en estos casos, por lo que niveles anteriores también se pueden identificar como RAID 10 o RAID 50 (13). Cuando se considera que los datos son demasiado importantes incluso se puede llegar a usar combinaciones como RAID 5+1 o 6+1, donde se usa el espejado para niveles ya redundantes (12).

1.6.1. RAID 1+0

Este nivel funciona como un RAID 0, donde cada uno de sus discos está replicado. Se considera el nivel de RAID con mejor rendimiento después de RAID 0 (12).

En cuanto a confiabilidad, es preferible a RAID 0+1. Puede tolerar fallas de todos los discos excepto uno en cada conjunto RAID 1 (12). Es decir, los datos se perderán sólo si fallan todos los discos de alguno de los RAID 1 que lo conforman.

El MTTF para este nivel está dado por la ecuación VIII. m es la cantidad de discos que forma cada RAID del nivel interior (en este caso RAID 1) y n la cantidad de niveles interiores que forman el exterior (RAID 0).

Ecuación VIII. **Fórmula para calcular el MTTF de una RAID 1+0**

$$MTTF_{RAID\ 1+0} = \frac{MTTF_{disco}^2}{m * n * MTTR}$$

Fuente: Peng, Liu, et ál. *RAID-M: a high performance RAID matrix mass storage*. p. 415

Este ofrece tanto confiabilidad como rendimiento. La desventaja es la cantidad de discos que requiere. Aunque puede implementarse con sólo dos (12), esta solución sacrifica ya sea rendimiento o confiabilidad. Para aprovechar todas las ventajas de este nivel se necesita al menos cuatro discos.

Además, como todo nivel que se basa en el espejado, sólo aprovecha la mitad de la capacidad de los discos para almacenamiento de datos. La capacidad de almacenamiento de RAID 1+0 la da la ecuación IX.

Ecuación IX. **Capacidad de almacenamiento de datos de RAID 1+0**

$$Capacidad_{RAID\ 1+0} = \frac{N * Capacidad_{disco}}{2}$$

Fuente: elaboración propia.

1.6.2. RAID 5+0

Este nivel usa un RAID 0 para agrupar varios RAID 5. Esto significa que se modifican menos bloques en cada uno y que además se hace de forma simultánea, mejorando la velocidad de las escrituras.

Esta opción tiene un costo de redundancia menor que RAID 1+0, pero a la vez tolera menos fallas. Si dos discos llegan a fallar en el mismo RAID 5, todos los datos se perderán. La ecuación X da el MTTF de RAID 5+0.

Ecuación X. **Fórmula para calcular el MTTF de una RAID 5+0**

$$MTTF_{RAID\ 5+0} = \frac{MTTF_{disco}^2}{m * n * (m - 1) * MTTR}$$

Fuente: Peng, Liu, et ál. *RAID-M: a high performance RAID matrix mass storage*. p. 416

La ecuación XI da la capacidad de almacenamiento de este nivel.

Ecuación XI. **Capacidad de almacenamiento de RAID 5+0**

$$Capacidad_{RAID\ 5+0} = n * (m - 1) * Capacidad_{disco}$$

Fuente: elaboración propia.

1.6.3. RAID 6+0

Este nivel agrupa varios RAID 6 como un RAID 0. Obtiene la misma ventaja que RAID 5+0: un rendimiento mejorado en operaciones de escritura.

Conserva la confiabilidad mejorada del nivel 6. Deben fallar tres discos en el mismo conjunto RAID 6 para perder todos los datos. O dicho de otra forma, tolera fallas en dos discos de cada RAID 6 que lo compone. La ecuación XII permite calcular el MTTF de RAID 6+0. Está basada en la ecuación X.

Ecuación XII. **MTTF de una RAID 6+0**

$$MTTF_{RAID\ 6+0} = \frac{MTTF_{disco}^2}{m * n * (m - 2) * MTTR}$$

Fuente: elaboración propia.

La mayor redundancia de RAID 6 viene acompañada de un costo mayor a RAID 5. La ecuación XII da la capacidad de almacenamiento de este nivel.

Ecuación XIII. **Capacidad de almacenamiento de RAID 6+0**

$$Capacidad_{RAID\ 6+0} = n * (m - 2) * Capacidad_{disco}$$

Fuente: elaboración propia.

1.7. Niveles no estándar de RAID

Además de los niveles estándar de RAID y las RAID anidadas, han surgido implementaciones no estándar. Por lo general están basados en algún nivel estándar con algunas mejoras. Por ejemplo cachés más grandes o se valen de una distribución de datos distinta.

1.7.1. RAID S

RAID S se ofrecía como parte de los sistemas de almacenamiento *Symmetrix* de la empresa *EMC*².

Lo que lo diferenciaba de otras RAID eran los algoritmos de cacheo, y el gran tamaño de estos últimos, que en 1995 alcanzaba ya los 4 GB. También podía ser combinado con RAID 1, *Symmetrix Remote Data Facility* (o *SRDF*) e incluso discos individuales que no pertenecían a una RAID. Otra característica era que la paridad se calculaba en el disco mismo, liberando al controlador para ocuparse sólo de procesar las solicitudes de E/S, mejorando así el rendimiento (9).

RAB (*RAID Advisory Board*) es una asociación de proveedores, consumidores y otras organizaciones interesados en productos relacionados con RAID y su introducción en el mercado. Algo que vale la pena mencionar de RAID-S es el hecho de haber sido el primer sistema certificado dicha asociación en estar en conformidad con la especificación de RAID 5 (6). De ahí que RAID-S sea considerado más bien una variante de este último.

1.7.2. Linux MD RAID 10

Este es un *driver* del kernel de Linux que permite crear RAID por *software* con diferentes configuraciones. *MD* se refiere a *Multiple Device* (18).

Esta RAID de Linux puede trabajar con cualquier dispositivo de bloque, sin importar la interfaz que tenga. Por ejemplo, puede usar dispositivos con interfaz SATA, USB, IDE, SCSI. Y no es necesario que todos los dispositivos que conforman la RAID tengan el mismo tipo.

Una característica interesante es que las RAID en sí son dispositivos de bloque. Por lo que en lugar de un disco con una de las interfaces mencionadas, podría usarse otra RAID (21). De esa forma, se pueden obtener RAID bidimensionales como las RAID anidadas de la sección 1.6 (RAID anidadas o híbridas). Éste es el controlador por *software* que permite crear RAID 1+0 con sólo dos discos (12).

1.7.3. IBM Server RAID 1E

Trabaja con el mismo concepto de espejado de RAID 1. La diferencia es la manera como se distribuyen los datos entre los discos.

Lo que hace esta RAID respecto a la distribución de los datos es que utiliza la separación en tiras, tal y como lo hace RAID 0. Entonces podría pensarse en RAID 1E como un RAID 0 con segmentos duplicados entre los diferentes discos, a diferencia de RAID 1 donde el segundo disco es una copia completa del primero (11).

Tiene como ventajas el rendimiento mejorado y la redundancia completa de los datos. Como desventaja está el hecho de que al igual que RAID 1, sólo puede usar el 50% de la capacidad de los discos que lo forman para almacenar datos.

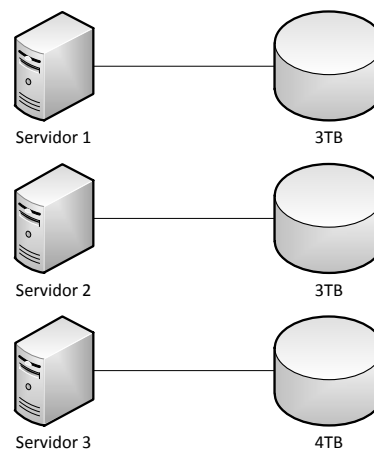
Para construir esta RAID son necesarios como mínimo tres discos, y soporta un máximo de 16 (11).

2. CASO DE ESTUDIO

En una empresa se planea implementar un *data center* para PYMES. La solución debe estar compuesta por tres servidores con una capacidad de almacenamiento total de 10TB. Además se desea una alta disponibilidad tanto de los servidores como de los datos. La información propia de los servidores se debe almacenar por separado.

La figura 10 muestra cómo se ha decidido distribuir el almacenamiento entre los tres servidores.

Figura 10. **Distribución de la capacidad de almacenamiento entre los servidores**



Fuente: elaboración propia.

2.1. Evaluación de niveles de RAID

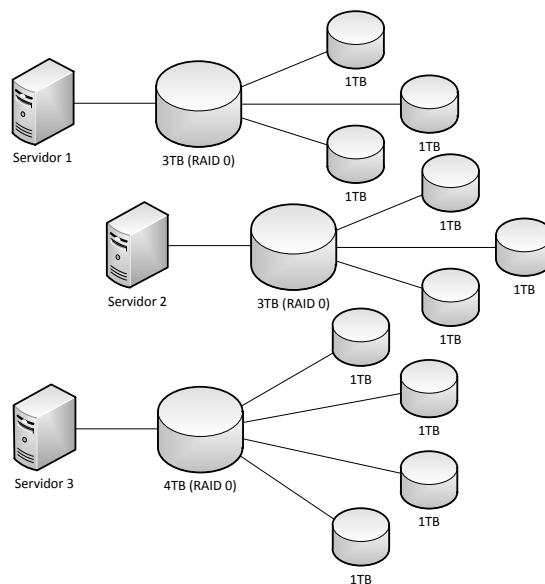
A continuación se analizan las ventajas y desventajas de diferentes niveles de RAID dadas las necesidades de la empresa.

2.1.1. RAID 0

Este nivel tiene el mejor rendimiento en operaciones de lectura y escritura. Por ello puede ser útil para almacenar copias de seguridad de disco a disco.

La implementación de RAID 0 usando discos de 1TB requeriría 10 de ellos, como se muestra en la figura 11. Un punto a favor, porque se puede aprovechar todo el espacio disponible. El problema es la falta de redundancia. Si falla un solo disco, se pierden todos los datos. Esto va contra el requerimiento de alta disponibilidad.

Figura 11. Implementación del *data center* usando RAID 0



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. RAID 1

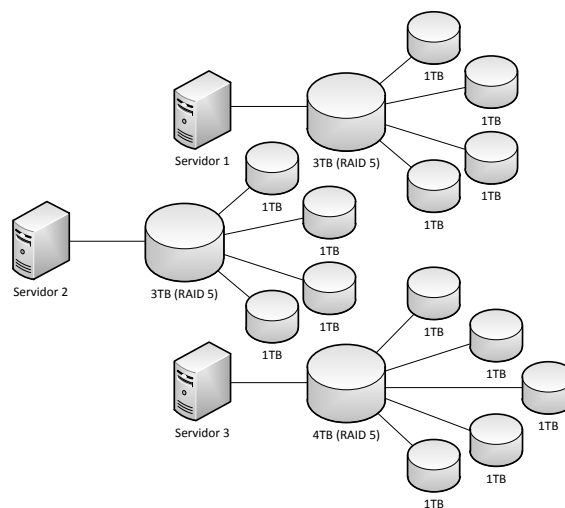
RAID 1 sí puede satisfacer el requerimiento de alta disponibilidad. Y aunque las operaciones de escritura no se ven beneficiadas, sí mejora la velocidad de las lecturas.

El problema de RAID 1 es su alto costo debido a la redundancia. Debido a la replicación completa de los datos, necesita el doble de la capacidad de almacenamiento. De modo que en este caso se requieren 20 discos de 1TB.

2.1.3. RAID 5

En comparación con los otros niveles, RAID 5 ofrece varias ventajas. Provee redundancia, pero su costo no aumenta mucho porque requiere pocos discos extra. Y al usar paridad distribuida elimina el cuello de botella de RAID 4, que la almacena en un solo disco. La figura 12 lustra la implementación del sistema con RAID 5.

Figura 12. Implementación del *data center* con RAID 5



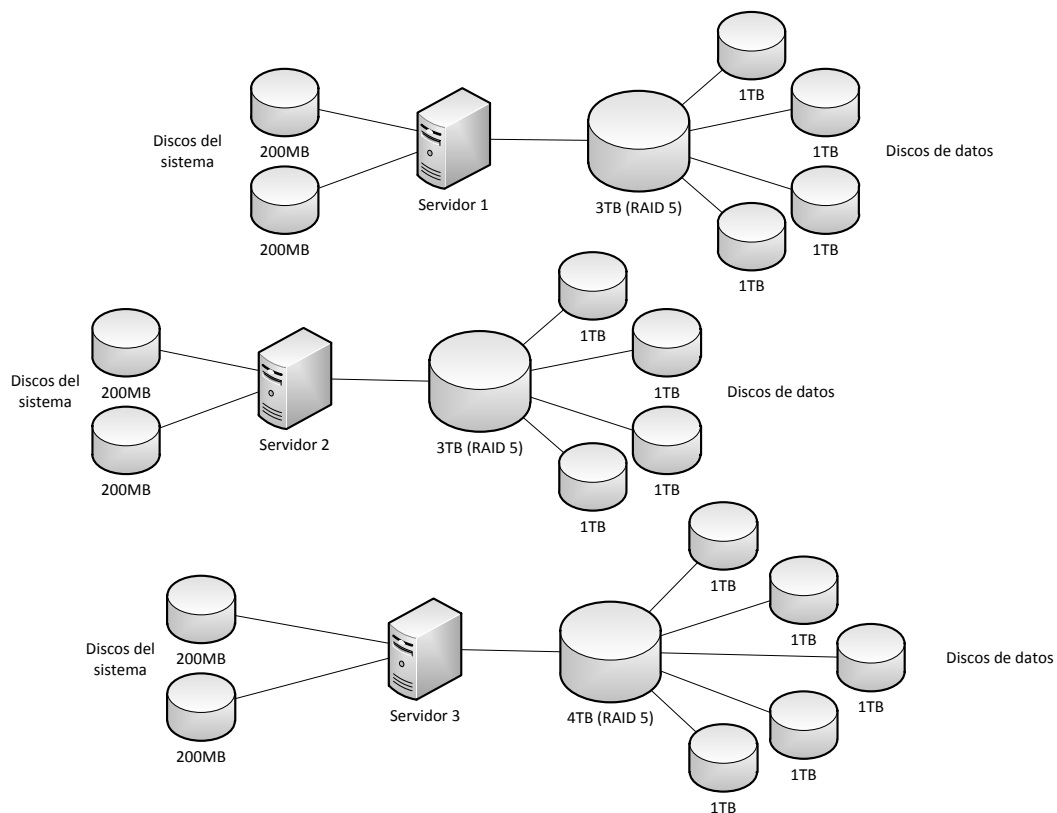
Fuente: elaboración propia.

2.2. Solución implementada

Se optó por usar RAID 5 para los datos, pero no se estaría protegiendo a los servidores. La alta disponibilidad tampoco se logra si falla el disco duro de alguno de estos.

Por lo anterior se tomó la decisión de usar RAID 1 para los archivos del sistema de cada servidor. Si bien esto obliga al uso de un disco extra en cada uno, son discos de menor capacidad y por lo tanto más económicos. La figura 13 ilustra la solución completa.

Figura 13. Esquema de la solución completa



Fuente: elaboración propia.

La solución cumple con los requisitos de la empresa. Se tiene la capacidad de almacenamiento deseada (10TB) protegida por medio de RAID 5. También se mejora la disponibilidad del sistema al proteger a los servidores de fallas en un disco duro usando RAID 1. Y el costo se redujo en relación a otros niveles de RAID que pudieron usarse.

2.3. Conclusiones

Como en todo proyecto, la implementación de un sistema de almacenamiento debe equilibrar un conjunto de requerimientos. Es imposible cumplir cada característica deseada ya sea por razones económicas o técnicas.

- El primer paso es entonces determinar qué es lo más útil para las necesidades que debe satisfacer el sistema. En este caso la disponibilidad y una gran capacidad de almacenamiento estaban por encima del rendimiento
- Lo siguiente es diseñar una solución que cumpla con los requerimientos definidos y que mantenga los costos dentro de límites aceptables

Muchas empresas tienen requerimientos similares a la de este caso. Es por ello que RAID 5 se ha vuelto una opción bastante popular. Provee redundancia a un costo aceptable, lo que permite construir sistemas con una capacidad de almacenamiento mayor a la que se obtendría con otros niveles. Y su rendimiento tampoco se ve muy penalizado comparado por ejemplo con RAID 4.

Si el costo por MB de los discos duros continúa disminuyendo, es posible que las empresas puedan pagar el costo de una unidad extra para implementar RAID 6.

3. PROPUESTA: CAPÍTULO DE APORTE

3.1. Definición

Los datos que se presentan a continuación se obtuvieron por medio de encuestas. Dichas encuestas fueron enviadas a organizaciones dentro de la ciudad de Guatemala. Utilizando como base el marco teórico, se comparan los resultados de las encuestas con los usos recomendados de cada nivel de RAID.

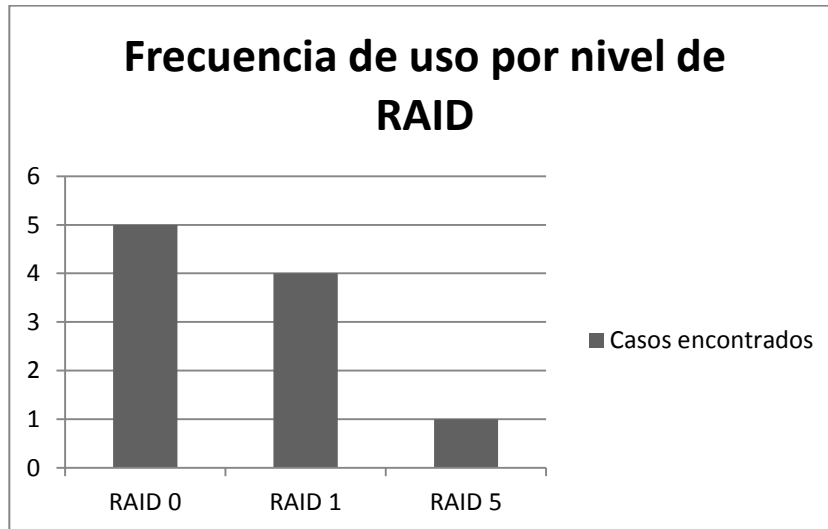
3.2. Análisis de los resultados

3.2.1. Uso de los distintos niveles de RAID

En la práctica sólo se usan los niveles 0, 1, 4 y 5. Los niveles 2, 3 y 4 resultan poco viables debido a la gran cantidad de discos que necesitan.

La figura 14 muestra la frecuencia de uso de cada nivel de RAID. Si bien RAID 0 no cuenta con redundancia de datos, es el más común. La razón principal que indicaron los encuestados fue la elevada tasa de transferencia que ofrece. Otro motivo importante fue la capacidad de almacenamiento. RAID 0 aprovecha toda la capacidad de los discos que lo componen, a diferencia de RAID 1, 4 o 5. Esto también lo hace más económico al no tener que usar discos extra o de mayor capacidad para compensar el espacio que necesita la redundancia de los datos.

Figura 14. Frecuencia de uso de cada nivel de RAID



Fuente: elaboración propia.

RAID 1 es el segundo nivel más común. Quienes lo usan indicaron que su elección se basó en la redundancia de datos que provee. La desventaja es que sólo se aprovecha la mitad de la capacidad de almacenamiento de los discos.

Sólo una de las organizaciones usa RAID 5. La razón para hacerlo es también la redundancia de datos, pero su desventaja es la mayor cantidad de discos que necesita. Por ejemplo en la organización investigada se usan siete, aunque el mínimo sea de tres.

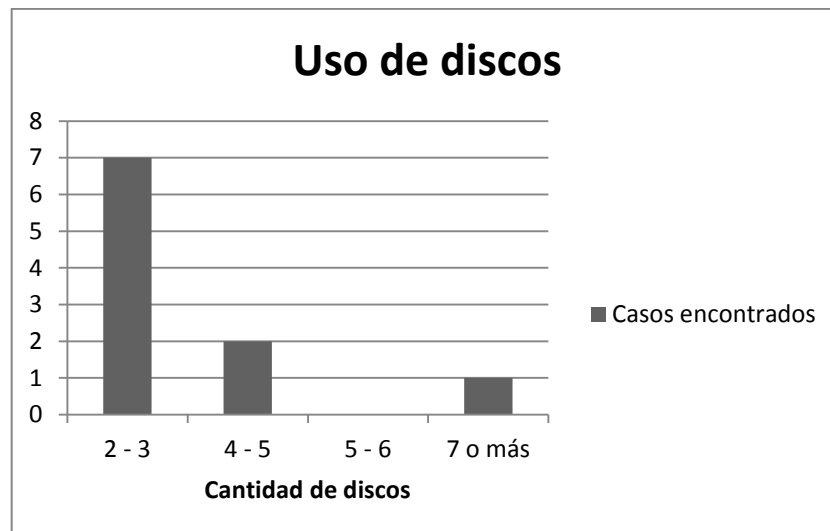
Se puede concluir que el RAID 0 es el usado con más frecuencia. Esto se debe a su rendimiento y mayor capacidad de almacenaje. Lo anterior significa menos discos necesarios para implementarlo y por lo tanto es más económico. Sin embargo, debe considerarse que carece por completo de redundancia y que basta con que falle un disco para perder todos los datos.

3.2.2. Implementación del RAID

Una de las desventajas de usar RAID es la cantidad de discos duros necesaria. En especial para los niveles 1, 4 y 5, pues parte de la capacidad de almacenamiento se usa para la redundancia de los datos. La investigación reveló que el 70% de las organizaciones utilizó la cantidad mínima de discos para implementar su RAID.

La organización que optó por RAID 5 usó siete discos, cuando el mínimo es de tres. De manera similar una organización con RAID 0 y otra con RAID 1 emplearon cuatro discos en lugar de los dos que son necesarios. El histograma de la figura 15 muestra la frecuencia de uso de cada cantidad de discos.

Figura 15. **Histograma de frecuencias de la cantidad de discos duros**

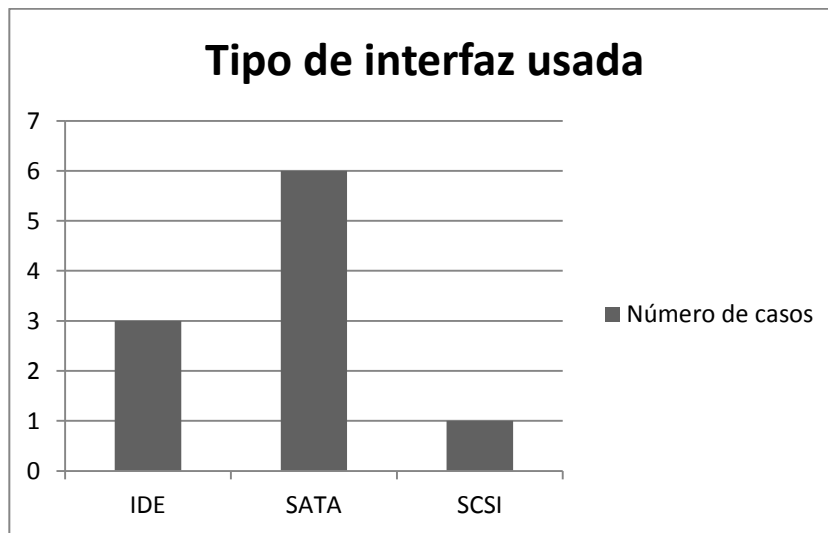


Fuente: elaboración propia.

Se concluye que la necesidad de usar más discos para armar una RAID es un factor de peso en las organizaciones. En general se busca emplear la cantidad justa, lo que resulta más económico y facilita el mantenimiento.

En cuanto a la interfaz de los discos, SATA es la de uso más extendido. En segundo lugar se encuentra la interfaz IDE, mientras que una sola organización emplea SCSI. La elección de la interfaz se basó muchas veces en la facilidad de adquisición. En algunas organizaciones se consideró la tasa de transferencia de datos para tomar una decisión al respecto. La figura 16 muestra la frecuencia de uso de cada tipo de interfaz.

Figura 16. **Frecuencia de uso de cada tipo de interfaz**

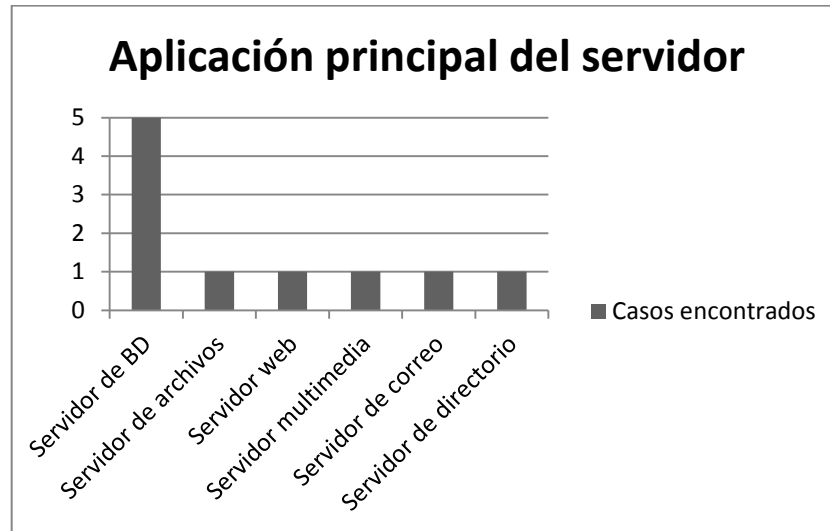


Fuente: elaboración propia.

3.2.3. **Aplicaciones instaladas en el servidor**

El uso más común que se le da a los servidores con RAID es el de base de datos. El resto son servidores de archivos, web, multimedia (archivos de audio y video), correo electrónico y directorios. La frecuencia de uso de cada tipo de servidor se muestra en la figura 17.

Figura 17. Frecuencia de uso de aplicaciones en el servidor



Fuente: elaboración propia.

De las cinco organizaciones que usan su servidor para bases de datos, tres cuentan con RAID 0. Las dos restantes emplean RAID 1 y 5, que son más recomendables para este tipo de aplicación debido a la redundancia de datos que proveen. Los otros dos servidores con RAID 0 se emplean para correo electrónico y multimedia. En estos casos puede considerarse que el nivel seleccionado es acorde con la función del servidor.

Para los servidores web, de archivos y de directorio se eligió RAID 1. Dicho nivel presenta un buen rendimiento para la lectura de datos, lo que se considera favorable para las aplicaciones mencionadas. Además se tiene la ventaja de la redundancia.

3.2.4. Rendimiento y capacidad de la RAID

En todas las organizaciones encuestadas se considera que el rendimiento que ofrece el RAID es suficiente para sus necesidades. Esto no es extraño pues se trata de una de las características de esta tecnología.

Lo mismo ocurre con la capacidad de almacenamiento. En todas las organizaciones, la RAID creada tiene la capacidad suficiente para soportar el volumen de datos que se necesita.

3.3. Modelo propuesto para la elección de un nivel de RAID

Dado que el objetivo del modelo es el de ayudar a elegir un nivel de RAID, se optó por representarlo como un árbol de decisión. Cada uno de sus nodos es una característica o requerimiento de un sistema de cómputo. Las aristas son las opciones asociadas a esas características, mientras que las hojas son los niveles de RAID que se recomienda y su implementación.

Se asume que la implementación de RAID será “desde cero” y que todo el *hardware* necesario será adquirido.

3.3.1. Nodos y aristas del árbol de decisión

A continuación se enumeran y explican las características representadas por los nodos y las aristas asociadas.

3.3.1.1. Objetivo principal

Cuál es la intención primaria para usar RAID. Cuál es la razón para su implementación, o qué se espera mejorar del almacenamiento secundario.

3.3.1.1.1. Confiabilidad

Se busca mejorar la confiabilidad del almacenamiento secundario. Los datos pueden sobrevivir a la falla de alguno de los discos duros. Por esa razón los nodos siguientes sólo llevan a niveles redundantes.

Se elige esta arista si la pérdida de los datos implica un costo considerable, no sólo directo sino también indirecto. Por ejemplo, la pérdida de información de los clientes de una empresa conlleva un largo proceso de restauración y afecta el prestigio de la misma.

3.3.1.1.2. Rendimiento y capacidad de almacenamiento

Los procesos son intensivos en operaciones de E/S. En especial la lectura o escritura de grandes cantidades de datos secuenciales. Un buen ejemplo de este tipo de operaciones es la edición, copia o reproducción de archivos de video.

La pérdida de datos siempre tiene costos asociados, pero se elige esta arista cuando el bajo rendimiento del almacenamiento secundario afecta la operación del sistema. Puede ser que se haya convertido en un cuello de botella para los procesos del negocio.

También se elige si se requiere una capacidad de almacenamiento mayor a la de un disco individual. RAID 0 aprovecha toda la capacidad de almacenamiento de los discos, a diferencia de los niveles redundantes.

3.3.1.1.3. Rendimiento y confiabilidad (costo elevado)

Es posible lograr tanto rendimiento como confiabilidad por medio de RAID anidadas. Aunque el costo aumenta bastante al necesitar más discos y controladores de *hardware*.

En este caso se asume una implementación RAID-M, como la descrita en la sección 1.6 (RAID anidadas o híbridas). Por esa razón no se especifica si debe ser por *hardware* o *software*.

3.3.1.2. Operación de E/S más frecuente

Este nodo se incluyó debido a la diferencia de rendimiento de las RAID redundantes respecto a RAID 0.

3.3.1.2.1. Escritura

Al modificar un bloque en RAID 5 se debe leer toda la tira donde se encuentra, se recalcula la paridad con el bloque modificado y el resultado se vuelve a escribir. RAID 6 hace lo mismo, pero con dos métodos diferentes para calcular la paridad.

El mejor nivel redundante para la escritura es RAID 1. Éste escribe los datos de forma simultánea en dos o más discos. Aun así, su rendimiento es igual al de un solo disco duro, pues en cada disco se escribe la totalidad de los datos de forma secuencial.

Se elige este nivel si la cantidad de operaciones de escritura es mayor que la de lecturas. Por ejemplo si la aplicación principal es una base de datos OLTP.

3.3.1.2.2. Lectura

En operaciones de lectura todos los niveles de RAID pueden recuperar información desde varios discos de forma simultánea. Pero en este caso se sugiere el uso de RAID 4, 5 o 6 debido a su menor costo de redundancia en comparación con RAID 1.

Los niveles 4, 5 y 6 tampoco son penalizados por la paridad en las lecturas. Mientras todos los discos estén funcionando, no deben realizar cálculo alguno.

Este nivel se elige si la cantidad de lecturas supera a la de escrituras. Por ejemplo en una base de datos OLAP.

3.3.1.3. Carga del procesador

Se refiere a la demanda que tiene el procesador por parte de las aplicaciones ya instaladas en la máquina. Es importante considerar este factor, pues los controladores RAID de *software* pueden necesitar un porcentaje significativo de los ciclos del procesador. Los niveles 4, 5 y 6 son más exigentes al tener que calcular la paridad al cuando se escriben los datos. La exigencia aumenta aún más si falla alguno de los discos y los datos deben ser reconstruidos para cada lectura.

El uso de controladores RAID de *hardware* reduce la carga del procesador de la computadora. Aún si se da el caso de un controlador de bajo rendimiento, al menos se estará evitando el uso de recursos destinados a las aplicaciones.

3.3.1.3.1. Alta

Se elige esta arista si el porcentaje de uso del procesador durante la operación normal del sistema es superior al 50%.

3.3.1.3.2. Media

Esta arista se elige si el uso del procesador se mantiene entre 20% y el 50%.

3.3.1.3.3. Baja

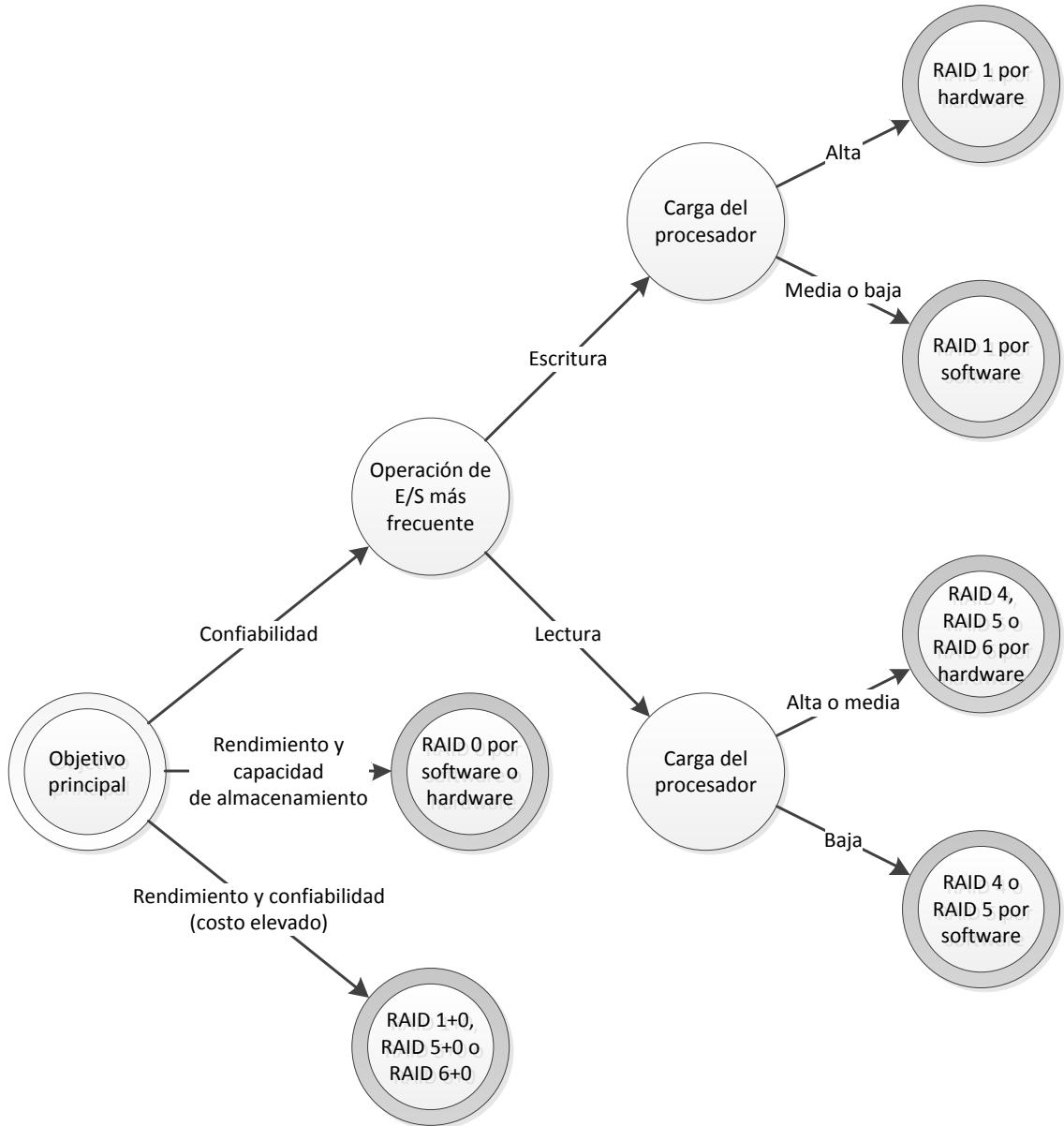
Esta arista representa un uso del procesador menor al 20%.

3.3.2. Árbol de decisión

La figura 18 muestra el árbol de decisión donde se emplean los nodos y aristas ya descritos.

Como apoyo a la elección de un nivel de RAID, la tabla 1 resume la cantidad de discos mínima para cada nivel recomendado, así como la fórmula para calcular su capacidad de almacenamiento.

Figura 18. **Árbol de decisión para la elección de un nivel de RAID**



Fuente: elaboración propia.

Tabla I. Cantidad de discos y cálculo de capacidad para cada nivel recomendado

Nivel	Cantidad mínima de discos	Capacidad de almacenamiento
0	2	$N * Capacidad_{disco}$
1	2	$Capacidad_{disco}$
4	3	$(N - 1) * Capacidad_{disco}$
5	3	$(N - 1) * Capacidad_{disco}$
6	4	$(N - 2) * Capacidad_{disco}$
1+0	4	$\frac{N * Capacidad_{disco}}{2}$
5+0	5	$n * (m - 1) * Capacidad_{disco}$
6+0	8	$n * (m - 2) * Capacidad_{disco}$

Fuente: elaboración propia.

Al igual que en las secciones anteriores, N es la cantidad total de discos de la RAID y $Capacidad_{disco}$ es la capacidad de almacenamiento del disco más pequeño. Para las RAID anidadas, m es la cantidad de discos de las RAID del nivel interior y n la cantidad de éstas agrupadas en el nivel exterior.

CONCLUSIONES

1. RAID es una tecnología que tiene como propósitos mejorar la tasa de transferencia del almacenamiento secundario y mejorar la confiabilidad por medio de la redundancia de datos. La tasa de transferencia aumentada favorece cualquier aplicación que sea intensiva en operaciones de E/S. La redundancia beneficia aplicaciones que requieren alta disponibilidad o tengan una necesidad especial de integridad de datos.
2. Las ventajas que ofrece RAID tienen un costo. Se debe sacrificar parte de la capacidad de almacenamiento para guardar la información redundante. La única excepción es RAID 0, que penaliza con un mayor riesgo de perder los datos al carecer de redundancia. Otra desventaja es que se necesitan por lo menos dos discos para crear uno.
3. Las aplicaciones que se usan en los servidores, por ejemplo las bases de datos, suelen beneficiarse de las características de RAID. Por ello su utilización es más frecuente en ambientes empresariales. Y como diferentes aplicaciones tienen patrones distintos de uso de datos, existen niveles de RAID que resultan más adecuados en determinadas situaciones.
4. Las encuestas realizadas revelaron que la adopción de cualquier nivel de RAID en una organización es lo suficientemente ventajosa como para no considerar cuál resulta más adecuado según las aplicaciones que se usan. Como siempre, un factor decisivo es la disponibilidad de recursos.

RECOMENDACIONES

1. A las personas encargadas de la adquisición de *hardware*, que la elección del nivel adecuado de RAID sea la mayor prioridad. Se observa que la principal razón para usar determinado nivel es el acceso a recursos de *hardware* (dependientes de los recursos económicos). Debe considerarse no sólo el rendimiento, sino también la confiabilidad. Esto es particularmente importante en el caso de los servidores de bases de datos, que son los más usados y que muchas veces contienen información de importancia para el negocio.
2. Siempre que se cuente con dos discos duros, y los datos que se quiera almacenar se consideren importantes, se recomienda el uso de RAID 1 en lugar de RAID 0. Ambos niveles requieren la misma cantidad de discos. Y aunque RAID 1 sólo use la mitad de la capacidad de la matriz de discos para almacenamiento de datos, el beneficio de la confiabilidad es considerable.
3. RAID protege los datos de fallas del *hardware*. Pero esto no implica que se deba olvidar la práctica de hacer copias de seguridad. Éstas son importantes porque protegen los datos de otros tipos de fallas, en especial fallas lógicas. Por ejemplo, un error en una operación que se graba en la base de datos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARÉVALO REYES, Luis Eduardo, et al. *Grabación magnética digital* [en línea]. Wikipedia, la enciclopedia libre: 7 de agosto de 2007. Disponible en Web: <http://es.wikipedia.org/wiki/Grabaci%C3%B3n_magn%C3%A9tica_digital>. [Consulta: abril de 2010].
2. ÁVILA, Alex. *Caso de estudio número dos* [en línea]. *Slideshare, present yourself.* Disponible en Web: <<http://www.slideshare.net/alex.avila1976/caso-de-estudio-numero-dos>>. [Consulta: enero de 2011].
3. AZUZ SÁNCHEZ, Héctor Arturo, et al. *Disco duro* [en línea]. Wikipedia, la enciclopedia libre: 12 de octubre de 2001. Disponible en Web: <http://es.wikipedia.org/wiki/Disco_duro>. [Consulta: diciembre de 2010].
4. BEZOS, Javier, et al. *Magnetización* [en línea]. Wikipedia, la enciclopedia libre: 1 de junio de 2004. Disponible en Web: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Magnetizaci%C3%B3n>>. [Consulta: diciembre de 2010].

5. BURNETT, Colin, et al. *Hamming code* [en línea]. *Wikipedia, the free encyclopedia*: 25 de febrero de 2002. Disponible en Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hamming_code>. [Consulta: diciembre de 2010].
6. *Business Wire*. *EMC's RAID-S attains an industry first with RAID advisory board conformance; Unique RAID-S implementation is first mainframe/open systems feature to receive RAID Level 5 Conformance certification*. San Francisco, California: *Business Wire*, 1995. p. 1.
7. CENTENO GÓMEZ, Jenaro, et al. *RAID* [en línea]. *Wikipedia, la enciclopedia libre*: 19 de enero de 2004. Disponible en Web: <<http://es.wikipedia.org/wiki/RAID>>. [Consulta: diciembre de 2010].
8. CUNNINGHAM, Chris, et al. *Hard disk drive* [en línea]. *Wikipedia, the free encyclopedia*: 18 de septiembre de 2001. Disponible en Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hard_disk_drive>. [Consulta: diciembre de 2010].
9. *EMC Corporation*. *EMC introduces new RAID level for Symmetrix family RAID-S: The highest performance parity-based RAID* [en línea]. *EMC Press Release*: 17 de abril de 1995. Disponible en Web: <<http://www.emc.com/about/news/press/us/1995/19950417-409.htm>>. [Consulta: enero de 2011].

10. HSIEH, Jenwei, et al. "Performance evaluation of software RAID vs. hardware RAID for parallel virtual file system". Round Rock, Texas: Dell Computer Corporation, 2002. p. 1-2.
11. IBM. *Understanding RAID level-1 enhanced* [en línea]. Disponible en Web:
<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/director/v5r2/index.jsp?topic=/serveraid_5.20/fqy0_craid1e.html>. [Consulta: diciembre de 2010].
12. KOPOVOI, Andrei, et al. *Nested RAID levels* [en línea]. *Wikipedia, the free encyclopedia*: 19 de diciembre de 2006. Disponible en Web:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Nested_RAID_levels>. [Consulta: diciembre de 2010].
13. LEEDS, Stephan, et al. *RAID* [en línea]. *Wikipedia, the free encyclopedia*: 2 de noviembre de 2001. Disponible en Web:
<<http://en.wikipedia.org/wiki/RAID>>. [Consulta: enero de 2011].
14. PATTERSON, David A., et al. "A case for redundant arrays of inexpensive disks (RAID)". Berkeley, California: *Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California*, 1988. p. 1-4.
15. PENG, Liu, et al. "RAID-M: A high performance RAID matrix mass storage". *Science in China Ser. F Information Sciences*. 2005, vol. 48, p. 409-420.

16. PLANK, James S. *The RAID-6 liberation codes*. Knoxville, Tennessee: *Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Tennessee*, 2008. p. 1-2.
17. POTTE, Jack, et al. *Data striping* [en línea]. *Wikipedia, the free encyclopedia*: 18 de febrero de 2004. Disponible en Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Data_striping>. [Consulta: octubre de 2010].
18. QUIMBEY, Robert, et al. *Non-standard RAID levels* [en línea]. *Wikipedia, the free encyclopedia*: 19 de diciembre de 2006. Disponible en Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Non-standard_RAID_levels>. [Consulta: junio de 2010].
19. SCHULZE, Martin E. *Considerations in the Design of a RAID Prototype*. Berkeley, California: *Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California*, 1988. p. 3-4.
20. SPENCER, Ian M., et al. *Disk mirroring* [en línea]. *Wikipedia, the free encyclopedia*: 9 de noviembre de 2005. Disponible en Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Disk_mirroring>. [Consulta: enero de 2011].
21. ØSTERGAARD, Jakob; BUESO, Emilio. *Why RAID?* [en línea]. *Linux RAID Wiki*: 3 de octubre de 2006. Disponible en Web: <https://raid.wiki.kernel.org/index.php/Why_RAID%3F>. [Consulta: junio de 2010].

APÉNDICE 1: FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN DISCO DURO

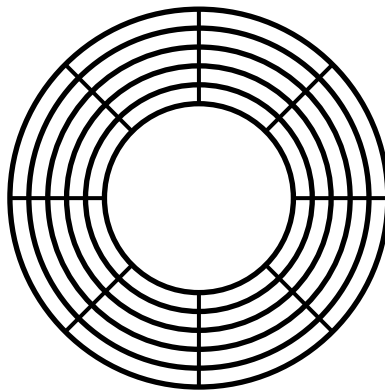
DURO

Platos

Un disco duro se compone de varios platos de aluminio o cristal cubiertos de un material ferromagnético. Dicho material se encuentra sobre ambas caras del disco, y permite ser magnetizado. Es la dirección de la magnetización en diferentes partes del disco la que representa los bits de datos.

Las caras de los platos tienen pistas, que son círculos concéntricos sobre los cuales se graban los datos. Éstas a su vez se dividen en sectores de pista. Todos los sectores de pista en un disco duro almacenan la misma cantidad de información, sin importar su longitud. Ésta es la unidad mínima de almacenamiento en el disco duro. La figura 19 muestra las pistas y sectores sobre la cara de un plato.

Figura 19. **Cara del plato de un disco duro**



Fuente: elaboración propia.

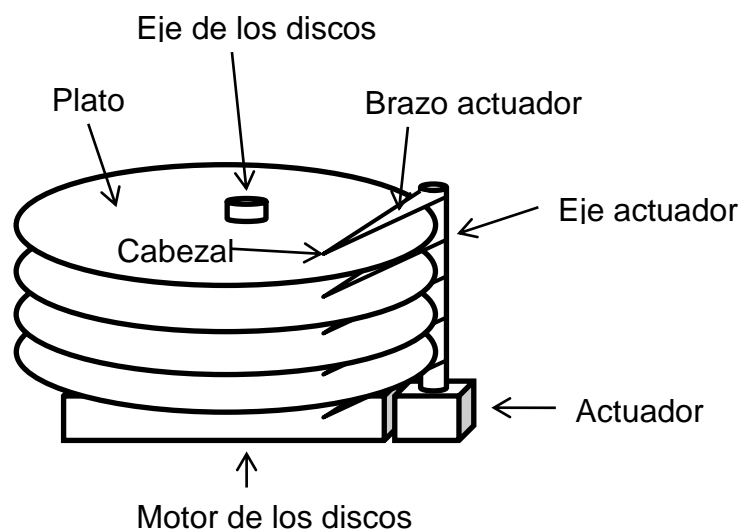
Los discos duros pueden tener entre dos y siete platos. Todos están unidos a un solo eje de rotación impulsado por un motor. La velocidad de rotación puede variar entre 3000 y 15 000 revoluciones por minuto.

Cabezales y actuadores

Los cabezales son dispositivos que permiten leer o modificar la magnetización de los platos, leyendo o escribiendo datos. Estos flotan muy cerca de su superficie, sin llegar a tocarlo. Hay uno por cada cara.

Cada cabezal sólo puede acceder una pista a la vez. Por ello se encuentran montados al final de un brazo actuador. Todos los brazos se unen a un solo eje actuador, unido a otro motor llamado actuador. Éste hace girar al eje, que mueve los brazos y éstos a los cabezales, desplazándolos sobre las diferentes pistas del disco. La figura 20 muestra todo el mecanismo.

Figura 20. **Platos y mecanismo actuador de un disco duro**



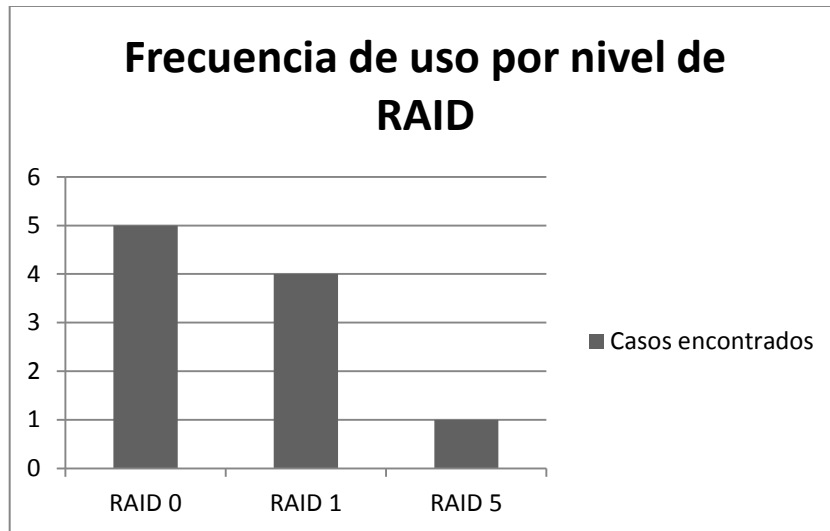
Fuente: elaboración propia.

Cuando se solicita una lectura o escritura de datos, el actuador ubica al cabezal sobre la pista correcta. El cabezal espera hasta que la rotación de los platos lleve al sector que se busca debajo (o encima) de él. Luego procede a leer o modificar la magnetización de los bits del sector a medida que se mueve. Durante todo el proceso los platos nunca dejan de girar.

APÉNDICE 2: ENCUESTA

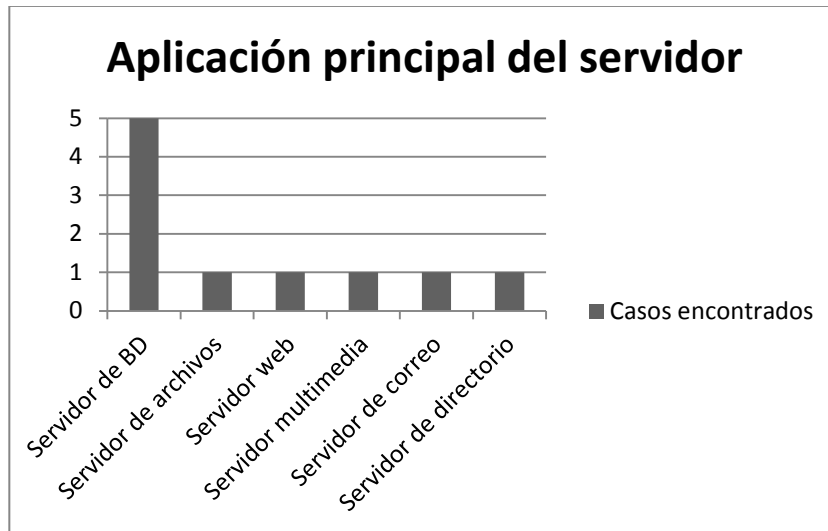
La encuesta se realizó por medio del sitio web “Encuesta Fácil”. La muestra resultante fue de 10 encuestados, todas organizaciones dentro de la ciudad de Guatemala. El link de esta encuesta es el siguiente: http://www.encuestafacil.com/MiArea/Links_Encuesta.aspx?EID=759194. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

- **Pregunta 1:** ¿Qué nivel de RAID ha utilizado?



Fuente: elaboración propia.

- **Pregunta 2:** ¿En qué tipo de servidor utilizó la tecnología RAID?



Fuente: elaboración propia.

- **Pregunta 3:** ¿Cuál es la función principal del sistema con RAID?

Tener una menor probabilidad de fallo en el almacenamiento y con ello reducir el riesgo de falla del servidor de dominio, el cual es indispensable para el funcionamiento de la estructura de red.

Un servidor de base de datos y un servidor web.

Asegurar la continuidad de la información, reducir la probabilidad de pérdida de datos.

Tener los datos redundantes para evitar pérdidas ante fallos.

La disponibilidad e integridad de los datos.

Tener una replicación de documentos, y reducir al mínimo la pérdida de información.

Almacenamiento de información, de música.

Incrementar el rendimiento del sistema.

Reducir tiempos de acceso al disco duro.

Lectura y escritura paralela de bloques de igual tamaño.

- **Pregunta 4:** ¿En qué se basó para seleccionar el nivel de RAID utilizado en el servidor?

Varios factores, recursos, objetivo del RAID 1.

Velocidad.

Importancia de los datos, rendimiento del arreglo.

En la capacidad de poder afrontar el fallo de un disco duro sin dejar de funcionar el sistema ni pérdidas de datos.

De acorde a nuestras necesidades.

En el rendimiento y la seguridad en cuanto a pérdida de información.

La velocidad y tiempo de transferencia de información.

Debido a que es un nivel adecuado cuando solo se posee dos discos.

Rapidez al acceso de dispositivos.

Según mis conocimientos en ese momento, fue la más fácil de implementar.

- **Pregunta 5:** Describa los recursos (*hardware* y *software*) que estarán involucrados en la implementación del nivel de RAID implementado

Recursos *hardware*: dos discos duros de 300GB SATA II. Recursos *software*: herramientas del sistema operativo del servidor.

Hardware: 256 de RAM, disco de 20 GB. *Software*: servidor Oracle, servidor Apache Tomcat.

Discos duros varios y un controlador *hardware* para gestionar el arreglo.

Sistema p4 2GB de RAM, Linux Fedora como sistema operativo.

Hardware: 256 de RAM disco de 20 GB procesador de 1.8 GHz. *Software*: servidor Apache Tomcat Windows Server 2003.

Hardware: 256 de RAM disco de 160 GB procesador de 1.8 GHz. *Software*: Windows Server 2008.

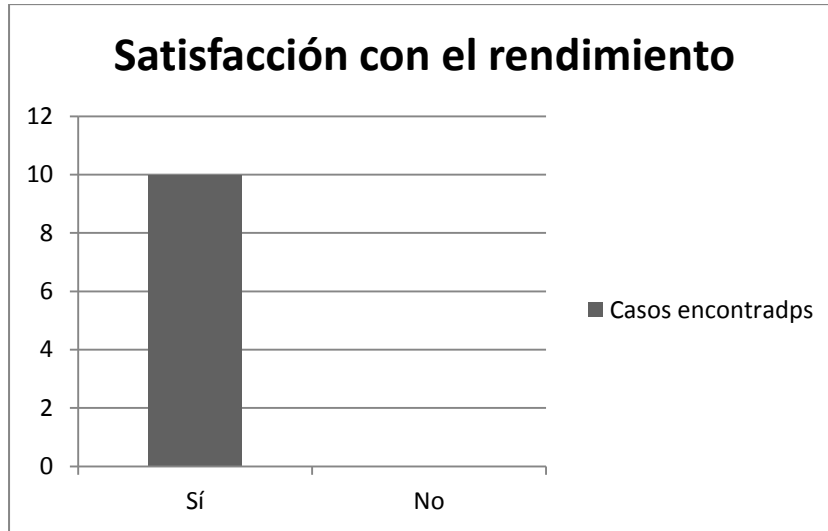
Factores necesarios para la implementación de RAID 0.

Servidores NFS.

Discos duros IDE, Windows 2008 Server, Microsoft Exchange.

Discos duros y configuración del BIOS, aunque es evidente que el procesador tiene que jugar un papel importante para coordinar el proceso.

- **Pregunta 6:** ¿La tasa de transferencia de lectura y escritura que obtuvo al implementar tal nivel de RAID fue la adecuada?



Fuente: elaboración propia.

- **Pregunta 7:** ¿Cuál es la capacidad de los discos individuales utilizados en el RAID (GB)?

300 GB
20 GB
40 GB
180 GB
20 GB
160 GB
160 GB
100 GB
80 GB
80 GB

- **Pregunta 8:** ¿Cuál es el porcentaje de tiempo que habría de estar disponible el sistema?

100%
95%
85%
100%
100%
Todo el tiempo.
95%
24 horas.
98%
75%

- **Pregunta 9:** ¿Qué política utiliza la empresa para el reemplazo de los discos que forman parte del RAID?

Verificación continua de fallos y tiempo de vida.
Ninguna.
Cuando un volumen falla es reemplazado de inmediato, con unidades extra en frío listas para ser usadas.
Sin que el disco presente algún indicio de fallo es retirado después de 11 meses de uso ininterrumpido.
Cada tres años.
Verificación continua de fallos y existe un reemplazo de discos cada dos años.
Cada 3 años se realiza el cambio de discos y si un disco falla antes de tiempo se realiza el cambio inmediatamente.
Los fallos de <i>hardware</i> que se presentan en los discos duros.
Reemplazo en frío de la RAID, durante la noche en un día festivo.
No se han reemplazado aún.

- **Pregunta 10:** ¿Se utiliza algún método para monitorear el estado de los discos (si su respuesta es sí, especifique)?

Sí, a través de herramientas de *software* que nos permiten analizar el comportamiento y temperatura de los discos.

No.

No.

La escritura y lectura de los mismos periódicamente por una aplicación dedicada a esto.

No.

No.

No.

No.

Free Disks Monitoring Software.

No se utiliza ninguno.

- **Pregunta 11:** ¿Qué método se utiliza para detectar las fallas en los discos?

A través de herramientas de detección de fallos.

Ninguna.

Alertas del sistema.

Un programa que periódicamente va a escribir y leer datos a los discos y al ya no poder esta acción lo reporta como con falla.

Ninguno.

Herramientas de *software* que nos permiten detectar fallas en los discos.

Software que permite la detección de fallas.

La velocidad en las operaciones de lectura y escritura.

Chequeo cada 30 arranques de las particiones y clústeres del disco con fdisk de Windows.

No se utiliza ninguno.

- **Pregunta 12:** ¿En caso de ocurrir la falla de un disco, cual es el tiempo máximo para el reemplazo del mismo?

Depende del departamento asignado para la compra.

Lo antes posible.

Dos horas.

Un día.

10 días.

Inmediato.

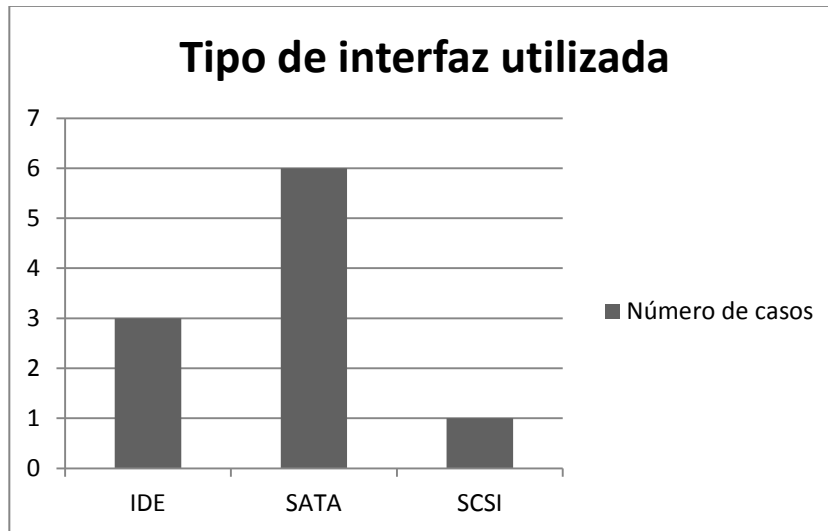
El reemplazo ocurre en el menor tiempo posible.

Dos horas.

24 horas.

No han fallado todavía.

- **Pregunta 13:** ¿Qué tipo de controlador utilizó para implementar el nivel de RAID?



Fuente: elaboración propia.

- **Pregunta 14:** ¿Cuál fue la razón por la cual optó utilizar tal controlador de disco?

Recursos disponibles.

Mayor rapidez.

Precio.

Son los que se utilizan más actualmente.

Rapidez.

Por la disponibilidad de recursos.

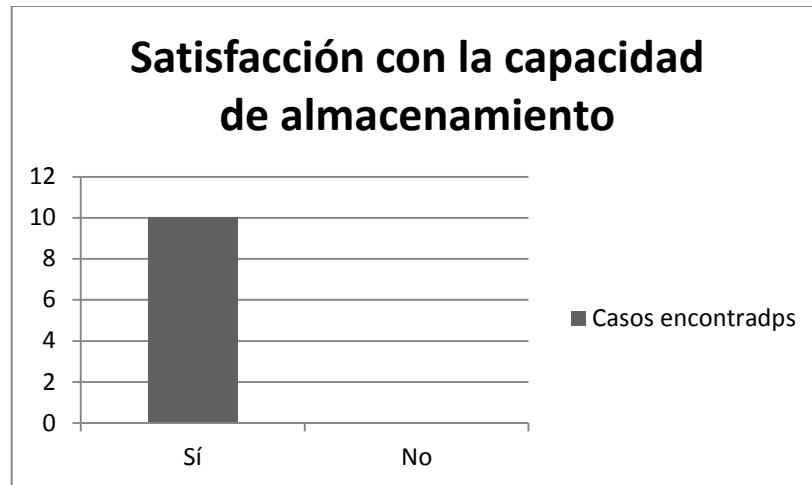
Son los recursos que brinda la empresa.

Estos son los discos proporcionados por la empresa.

Eran los que en mayor cantidad contaba la empresa.

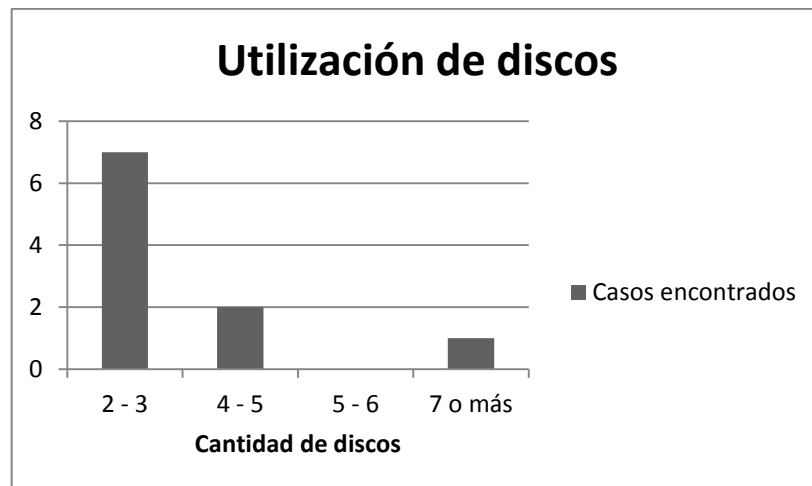
Por ser el tipo más accesible económicamente, en el momento de la implementación.

- **Pregunta 15:** ¿El nivel de RAID seleccionado fue el adecuado para el volumen de datos de la organización?



Fuente: elaboración propia.

- **Pregunta 16:** Cantidad de discos utilizados para la implementación del RAID



Fuente: elaboración propia.

- **Pregunta 17:** Objetivo principal por el cual se eligió la tecnología RAID para su servidor

Evitar la falla completa del servidor de dominio ya que la falla del mismo implica ya reconfiguración de cada una de las terminales.

Rapidez.

Rendimiento.

Por la fiabilidad que proporciona.

Integridad de los datos.

Para evitar la falla en el servidor.

Por el tiempo de transferencia de datos.

Factores como seguridad, velocidad, capacidad, coste, etc.

Disminuir el tiempo de acceso al disco duro y respaldo de la información.

Aumentar la velocidad de lectura y escritura de datos.

- **Pregunta 18:** Ventajas obtenidas por la utilización del nivel de RAID seleccionado

Redundancia de datos satisfactoria. En caso de falla, el sistema es recuperado de forma inmediata.

Mayor rapidez.

Rendimiento, redundancia suficiente.

Alta disponibilidad del sistema siempre y confiabilidad muy alta.

Más seguro.

Redundancia de información tasa de transferencia de datos efectiva evita pérdida de información.

Velocidad tiempo.

Alta velocidad. Disponibilidad. Concurrencia. etc.

Mejoría en los tiempos, y menor pérdida de datos por fallas.

Aumento en la velocidad de lectura y escritura de datos.

- **Pregunta 19:** Desventajas al utilizar el nivel de RAID seleccionado

Reducción del 50% de capacidad disponible.

Si se arruina un disco se arruinan los dos.

Cantidad de discos.

Se incrementan los costos de equipo por la necesidad de duplicar siempre los datos.

Ninguna.

Incremento de costos de equipo.

No existe redundancia de información. Si un disco falla se pierde la información por completo..

Ninguno.

Podrían mejorarse los tiempos con otro arreglo pero no se cuentan con los recursos para obtener mayor cantidad de discos duros.

Si un disco llega a fallar, se puede perder la información de ambos discos.

- **Pregunta 20:** En cuanto a la integridad de los datos, ¿qué beneficios brinda el nivel de RAID seleccionado?

Integridad total ya que se almacena una réplica exacta de los mismos.

Por el tipo de RAID utilizado la integridad de los datos es casi la misma a la de un disco normal.

Paridad distribuida, lo que reduce el riesgo de pérdida de datos.

Permite mantener siempre seguros y disponibles todos los datos sensibles de la empresa donde fue implantado.

Ninguno, pero todo fue más rápido.

La redundancia de información.

En cuanto al RAID seleccionado, no brinda mayor integridad ya que si un disco falla se pierde por completo la información. Este tipo de RAID aumenta la tasa de transferencia, pero no brinda seguridad en la información.

Confiabilidad, seguridad, disponibilidad.

Bastante conforme, porque los datos se mantienen replicados, por lo que es sencillo hacer back-ups mensuales.

Que no hay datos redundantes en los discos.

- **Pregunta 21:** Comentario personal sobre la Tecnología RAID

Muy buena y recomendable.

Bien :)

Esta es una tecnología muy buena ya que nos brinda un respaldo en cuanto a seguridad de la información.

Es una tecnología muy buena.

Es un mecanismo que nos brinda las herramientas necesarias cuando necesitamos formar un único volumen a partir de la cantidad que poseemos.

Es de gran ayuda cuando se manejan servidores, debido a las muchas transacciones que recibe el sistema, así como la calidad de mantener la integridad de la información.

Es beneficiosa en el rendimiento, pero a la hora del fallo de una unidad, se pierde la información de todas.