

## Requerimientos no Funcionales

Los Requerimientos no Funcionales (RNF) propuestos para evaluar una Nube Privada (NP) o Centro de Datos Virtualizado (CDV) (NP/CDV) poseen una estructura jerárquica como muestra la Figura 1, y responden a:

- 1<sup>er</sup>. Nivel “Dimensiones”: cubren los RNF generales de la NP/CDV. No están limitados a un tipo de capacidad específica de la Nube.
- 2<sup>do</sup>. Nivel “Categorías”: tienen como objetivo estructurar y organizar mejor los intereses dentro de las dimensiones.
- 3<sup>er</sup>. Nivel “Atributos”: no constituyen un nivel abstracto. son RNF concretos que responden a cierta categoría y que pueden ser medidos y comparados.
- 4<sup>to</sup>. Nivel “Indicadores de Desempeño Claves (KPI<sup>1</sup>)”: este nivel finalmente define los indicadores y métricas para evaluar los atributos del 3<sup>er</sup>. Nivel.

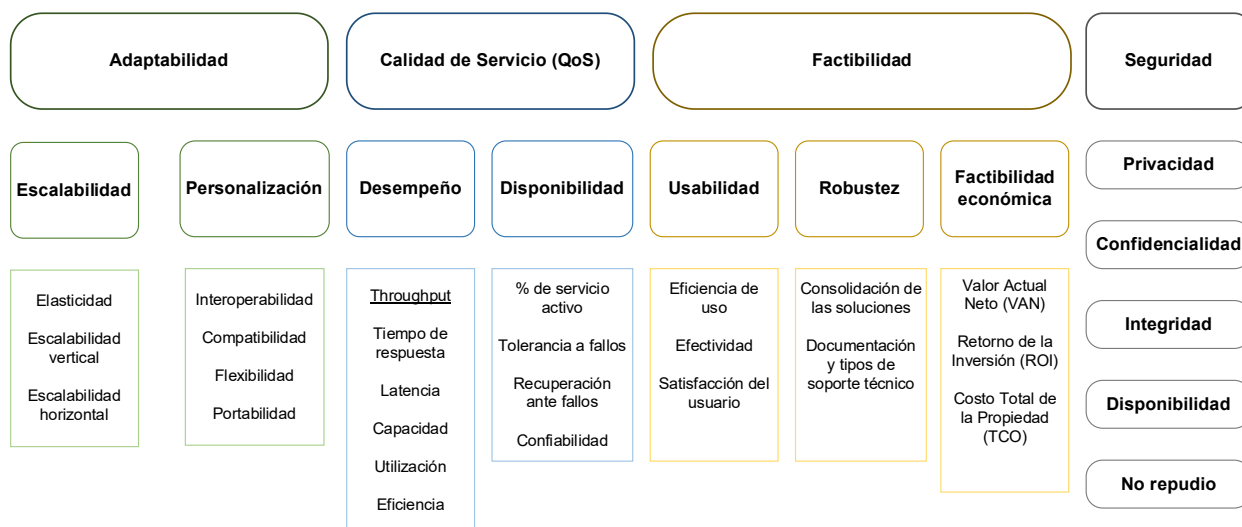


Figura 1. Requerimientos no Funcionales de una Nube Privada o Centro de Datos Virtualizado hasta su 3<sup>er</sup>. Nivel

<sup>1</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Key Performance Indicator.

## Prioridades en los RNF de una NP/CDV

Durante los procesos de diseño y evaluación de NP/CDV la elección de los RNF juega un papel crucial en la conformación de los diseños lógico y físico. Los diferentes clientes pueden desear potenciar en su diseño unos RNF más que otros, en dependencia de los objetivos del negocio y sus restricciones. Esta diversidad amerita que las prioridades y forma de evaluación de los RNF varíen entre un diseño de NP/CDV y otro.

Con este propósito se proponen dos posiciones para evaluar diseños de NP/CDV. La primera es a través del Indicador de Calidad de la NP/CDV ( $\alpha$ ). Esta es la manera más sencilla y rápida de evaluar diseños ya que se otorga igual prioridad a todos los RNF. La segunda posición, requiere un trabajo matemático extra ya que propone otorgar diferentes prioridades a los RNF en función de las exigencias del cliente. Esta posición se materializa a través del Indicador de Calidad Ponderado de una NP/CDV ( $\beta$ ).

Sean  $x_1, x_2, \dots, x_n$  los valores normalizados de los  $n$  elementos a medir de una NP/CDV, se define como  $\alpha$  a la media aritmética de estos  $n$  valores, como muestra la Fórmula 1:

[1]

$$\alpha = \frac{1}{n} * (\sum_{i=1}^n x_i) = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Sean  $x_1, x_2, \dots, x_n$  los valores normalizados de los  $n$  atributos a medir de una plataforma de virtualización, y  $w_1, w_2, \dots, w_n$  de los coeficientes ponderados o prioridades de cada uno de los  $x_i$  respectivamente, se define como  $\beta$  a la media aritmética ponderada de estos  $n$  valores normalizados, como muestra la Fórmula 2: [1]

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{x_1 * w_1 + x_2 * w_2 + \dots + x_n * w_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (2)$$

Una vez evaluada la solución, se calculan sus indicadores de calidad. Los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  dan una medida de la calidad de la solución seleccionada en cuestión. Es deseable

$\alpha < \beta$  ya que da una medida de que los RNF que interesa priorizar en el diseño han tenido mejor cumplimiento que los que no interesa priorizar. Mientras más grande sea la diferencia entre los dos coeficientes más eficiente habrá sido la elección. Mientras más cercano sea  $\beta$  a la unidad mejor será la solución, es decir, cumple con los RNF propuestos. [1]

A su vez en función de los valores de  $\alpha$  y/o  $\beta$  la plataforma debe ser evaluada de:

- Excelente:  $0,80 < \alpha \text{ y/o } \beta \leq 1$
- Muy buena:  $0,60 < \alpha \text{ y/o } \beta \leq 0,80$
- Buena:  $0,40 < \alpha \text{ y/o } \beta \leq 0,60$
- Regular:  $0,20 < \alpha \text{ y/o } \beta \leq 0,40$
- Insatisfactoria:  $\alpha \text{ y/o } \beta \leq 0,20$

Los valores de las prioridades de las Dimensiones, Categorías, Atributos y KPI deben obtenerse a través de entrevistas y trabajo conjunto con la entidad cliente. De trabajarse con un Método de Decisión Multicriterio (MCDM<sup>2</sup>) los pesos deben ser tomados de los resultados de su aplicación.

## Dimensión de Adaptabilidad

Indica la capacidad del sistema de responder dinámica y eficientemente ante la demanda de recursos, así como el grado de personalización que ofrece para ajustar tecnológicamente la infraestructura de la NP, así como sus servicios de soporte y de usuarios, ante las necesidades presentes y futuras de la entidad cliente. La Fórmula 3

---

<sup>2</sup> Siglas correspondientes al término de inglés: Multi-criteria Decision Making.

indica su valor numérico en función de la evaluación de sus categorías. De igual forma puede emplearse la media ponderada.

$$Adaptabilidad = \frac{Escalabilidad + Personalización}{2} \quad (3)$$

La Adaptabilidad se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < Adaptabilidad * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < Adaptabilidad * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $Adaptabilidad * 100\% \leq 80\%$ .

#### Categoría de Escalabilidad

La categoría de Escalabilidad indica la capacidad del sistema de soportar el crecimiento de la carga de trabajo manteniendo niveles de desempeño y costos aceptables, de manera económicamente factible, haciendo uso de recursos adicionales y de la explotación eficientemente los existentes [1]. La Fórmula 4 indica su valor numérico en función de la evaluación de sus atributos. De igual forma puede emplearse la media ponderada.

$$Escalabilidad = \frac{EH + EV_{NP} + Elast_{CSP}}{3} \quad (4)$$

La Escalabilidad se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < Escalabilidad * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < Escalabilidad * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $Escalabilidad * 100\% \leq 80\%$ .

### Atributo de Escalabilidad Vertical (EV)

Indica la capacidad de aumentar la potencia de cómputo de la infraestructura de la NP, mediante la adición de recursos a los equipos como Unidad Central de Procesamiento (CPU<sup>3</sup>), Memoria de Acceso Aleatorio (RAM<sup>4</sup>), capacidad de almacenamiento y Tarjetas de Interfaces de Red (NIC<sup>5</sup>), o el cambio de estos por otros con mayores prestaciones. La autora de la presente investigación aboga por dimensionar físicamente con el 100% de la EV debido al acelerado ciclo de vida del equipamiento, y por tanto su rápida obsolescencia en el mercado. En consecuencia, se propone que la EV sea evaluada en función del nivel de cubrimiento de las capacidades físicas del hardware (HW) adquirido, siendo su evaluación directamente proporcional al resultado obtenido.

### Métricas y procedimiento de evaluación

La métrica que se propone para evaluar el cumplimiento de la EV en el subsistema de los recursos de cómputo es “EV de la NP (EV<sub>NP</sub>)” definida por la Fórmula 1:

$$EV_{NP} = \frac{EV_{RC} + EV_T + EV_R}{3}$$

En donde:

EV<sub>NP</sub>: se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < EV_{NP} * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < EV_{NP} * 100\% \leq 90\%$ .

---

<sup>3</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Central Processing Unit.

<sup>4</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Random Access Memory.

<sup>5</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Network Interface Card.

- Mal: si  $EV_{NP} * 100\% \leq 80\%$ .

$EV_{RC}$ : es la EV de los Recursos de Cómputo, nodos de cómputo.

$EV_T$ : EV en los Tier, es la EV del Sistema de Almacenamiento (SA).

$EV_R$ : EV de la infraestructura de la Red Intra-Nube o Red del Centro de Datos (DCN) (red intra-nube/DCN).

#### Atributo de Escalabilidad Horizontal (EH)

Indica la capacidad del sistema de aumentar su potencia de cómputo mediante la agregación de nuevos equipos de HW al sistema como nodos de cómputo y de almacenamiento<sup>6</sup>, sin afectar:

- El diseño de los recursos facilitadores de la NP de: construcción física de las instalaciones, distribución de racks y cableado estructurado, el subsistema de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC<sup>7</sup>), el subsistema de protección ante incendios, y el subsistema de seguridad física. Se propone que el diseño de estos recursos se realice con los estándares<sup>8</sup>: TIA 942-B 2017, complementando con la ISO/IEC 11801-5:2017 para el cableado y el ANSI/ASHRAE Standard 90.4-2019 para los HVAC.
- los niveles de desempeño requeridos en cada uno de los subsistemas de la infraestructura: gestor de nube, plataforma de virtualización, SA y red.

---

<sup>6</sup> El equipamiento de red tiene un ciclo de vida de cinco años.

<sup>7</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Heating, Ventilation and Air Conditioning.

<sup>8</sup> Debe ser comprobada la actualidad de los estándares cuando se requiera su empleo.

- los presupuestos anuales destinados a las Inversiones de Capital (CAPEX<sup>9</sup>) y a los Gastos de Operaciones (OPEX<sup>10</sup>), específicamente a los gastos de consumo de energía eléctrica y a la gestión de los activos.

Se considera que un CD es escalable horizontalmente, si al aumentar su potencia de cómputo mediante la adición de recursos físicos, mantiene los niveles de desempeño requeridos, no infringe en los presupuestos anuales correspondientes al CAPEX y al OPEX, específicamente a los gastos de consumo de energía eléctrica y a la gestión de los activos, no requiere de migrar hacia otra solución de Plataforma de Gestión de Nube (CMP<sup>11</sup>) y/o plataforma de virtualización de NP, y de rediseñar los recursos facilitadores del CD. En consecuencia, la EH estará determinada por el menor crecimiento que imponga alguno de los factores mencionados.

#### Métricas

Factor de Escalabilidad Horizontal del Sistema (FEHs), expresado matemáticamente por la Fórmula 5:

$$FEHs = \frac{\text{número máximo de nodos posibles en cinco años}}{\text{número de nodos iniciales}} \quad (5)$$

En donde nodo se corresponde con servidores físicos de cómputo y/o de almacenamiento.

#### Pruebas

Para evaluar este atributo se propone identificar la EH que, en cinco años, en relación a los posibles nodos a agregar, imponen los siguientes componentes del CD:

---

<sup>9</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Capital Expenditure.

<sup>10</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Operational Expenditures.

<sup>11</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Cloud Management Platform.

1. Identificar el total de nodos que soportan los recursos facilitadores: construcción física de las instalaciones, distribución de racks y cableado estructurado, el subsistema de HVAC, el subsistema de protección ante incendios, y el subsistema de seguridad física. Se propone que el diseño de estos recursos se realice con los estándares<sup>12</sup>: TIA 942-B 2017, complementando con la ISO/IEC 11801-5:2017 para el cableado y el ANSI/ASHRAE Standard 90.4-2019 para los HVAC.
2. # de clústeres y nodos por clúster que soporta el CMP de la NP.
3. # de clústeres y nodos por clúster que soportan las plataformas de virtualización.
4. Identificar el # de nodos de almacenamiento que como máximo puede soportar el SA.
5. # de nodos máximo que puede soportar la red con la carga estimada.
6. # de nodos que puede soportar el CD sin violar el umbral máximo de consumo de energía eléctrica planificado en el período especificado, máximo en cada año fiscal.
7. # de nodos que pueden ser adquiridos, y equipamiento de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) necesario para su inclusión en el CD, sin que la inversión sobre pase el CAPEX y el OPEX planificados en el presupuesto.
8. Identificar en número máximo de nodos a través de la Fórmula 6:

*#MaxNodos =*

*míndenodos{recursos facilitadores, CMP, plataformas de virtualización, SA, red intra – nube, CAPEX & OPEX}* (6)

---

<sup>12</sup> Debe ser comprobada la actualidad de los estándares cuando se requiera su empleo.



9. Si el resultado obtenido no satisface las necesidades del proyecto, el FEHs, y en consecuencia la EH, deben ser evaluadas de 0, mal. De lo contrario proseguir con la Tarea # 10.
10. Con el dato anterior calcular el FEHs a través de la Fórmula 5.
11. Para ser integrado al sistema de evaluación final se debe hallar finalmente el valor de EH como indica la Fórmula 7:

$$EH = 1 - \frac{1}{FEHs} \quad (7)$$

#### Atributo de Elasticidad

La elasticidad en la presente propuesta es definida desde dos perspectivas:

- Usuario del Servicio de la Nube (CSU<sup>13</sup>): La elasticidad es la capacidad de un sistema de aumentar/decrementar automáticamente los recursos aprovisionados en función de la demanda. [2], [3]
- Proveedor del Servicio de la Nube (CSP<sup>14</sup>): La elasticidad indica la capacidad de adaptación de la infraestructura de la NP a los cambios de las cargas de trabajo a través del aprovisionamiento y des aprovisionamiento de recursos autónómicamente, de manera que en cada momento de tiempo los recursos disponibles se correspondan tanto como sea posible a la demanda actual [4] [5]. Se entiende como recursos disponibles aquellos recursos que se encuentran encendidos en el CD. Estos se deberán corresponder con los recursos consumidos en función de la demanda permitiendo mantener los índices de desempeño y disponibilidad establecidos.

---

<sup>13</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Cloud Service User.

<sup>14</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Cloud Service Provider.

## Métricas

### Perspectiva del CSU:

Se propone emplear la propuesta de [6], empleando como métrica primaria a la “Desviación de la elasticidad ( $\delta$ )”.

### Perspectiva del CSP:

La métrica primaria es expresada en la Fórmula 8:

$$Elasticidad = \frac{1}{P * T * TS * A} \quad (8)$$

En donde las métricas secundarias son:

- Precisión (P), expresada por la Fórmula 9:

$$Precisión (P) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Re(tn) - Rc(tn)] \quad (9)$$

En donde:

n: número total de muestras

Re: recursos físicos encendidos

Rc: recursos físicos consumidos

tn: instante en que se toma la muestra

- Velocidad (T), expresada en la Fórmula 10:

$$Velocidad (T) = \frac{90\%T_{aprov} + 90\%T_{desaprov} + 90\%T_{migra} + 90\%T_{ncre} + 90\%T_{decre}}{5} \quad (10)$$

En donde:

T<sub>aprov</sub>: tiempo de aprovisionamiento

T<sub>desaprov</sub>: tiempo de des aprovisionamiento

T<sub>migra</sub>: tiempo de migración

T<sub>ncre</sub>: tiempo de incremento de recursos

T<sub>decre</sub>: tiempo de decremento de recursos

Ts: tiempo de muestreo

- Automatización (A). expresada en la Fórmula 11:

$$Automatización (A) = \frac{1}{A_{CMP/Hip} + A_{SA} + A_{Red}} \quad (11)$$

En donde:

$A_{CMP/Hip}$ : Indica el soporte de Requerimientos Funcionales (RF) que soporta la combinación CMP-hipervisor que tributan a la automatización y a la elasticidad.

La Tabla 1 muestra los RF propuestos a considerar.  $A_{CMP/Hip}$  debe tomar el valor de la sumatoria de los pesos de los RF soportados.

Tabla 1. RF considerados de impacto en la elasticidad soportados por CMP-hipervisor

Categoría:	RF:		Clasificación		
			Obligatorio (Peso 3)	Recomendable (Peso 2)	Opcional (Peso 1)
Mecanismos de consolidación (Recomendables):	Toma de decisiones en el tiempo:	estática		*	
		dinámica			*
		dinámica basada en la predicción de la carga a soportar			*
	Parámetros a tomar en cuenta:	índices de utilización del HW		*	
		desempeño de los servicios			*
		impactos negativos en el desempeño durante la migración			*
		tráfico en la red del CD			*
		sistemas de enfriamiento			*
		disponibilidad			*
		Seguridad			*
	Método empleado:	exactos			*
		heurísticos	*		
		meta-heurísticos			*

	Política perseguida:	eficiencia energética.		*	
		desempeño de los servicios.			*
		balance de carga <sup>15</sup>		*	
Mecanismos de ubicación inicial de Instancias Virtuales (IV) (Obligatorio):	Manual:	Indicación de los nodos mejores candidatos.		*	
	Automática			*	
Mecanismos de migración de IV (Opcional):	Manual:	Indicar los nodos mejores candidatos.		*	
	Automática				*
	Estática			*	
	Transparente				*
	Soporte de migración de múltiples IV:	# simultáneo de IV a migrar			*
		Soporte de establecer prioridades entre las IV a migrar			*
Elasticidad (Opcional):	Horizontal				*
	Vertical:				
		CPU virtual (vCPU <sup>16</sup> )			*
		RAM			*
		Capacidad de almacenamiento			*
		NIC			*
Virtualización del CPU (Obligatorio):	<u>Over-Commit CPU</u>			*	
Virtualización de la RAM (Obligatorio):	<u>Over-Commit Dinámico<sup>17</sup></u>			*	
	<u>Compartimenta ción de Páginas de Memoria (Memory Page Sharing)<sup>18</sup></u>			*	

<sup>15</sup> Debe permitir seleccionar los niveles de prioridad de los recursos de los nodos, almacenamiento y red a ser tomados en cuenta para distribuir las instancias virtuales.

<sup>16</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: virtual CPU.

<sup>17</sup> Capacidad de presentarle a la IV más RAM de la que físicamente se encuentra disponible. Se realiza mediante la reasignación de la capacidad de RAM de la IV en función de la demanda.

<sup>18</sup> Permite compartir páginas idénticas de RAM entre IV.

	Páginas grandes en la RAM (Large Pages) <sup>19</sup>			*	
	Traslación de RAM asistido por HW (Obligatorio): <sup>20</sup>	<u>Advanced Micro Dynamics virtualization</u> (AMD-V) con soporte a <u>Rapid Virtualization Indexing</u> (RVI)	*		
		<u>Intel Virtualization Technology</u> (VT) <u>Nested/Extended Page Tables</u> (EPT)	*		
Sistema de Almacenamiento (Obligatorio):	<u>Thin Disk Provisioning</u> <sup>21</sup>			*	
	<u>Trim storage</u> <sup>22</sup>				*
Red:	Soporte de la configuración centralizada de la red virtual (Opcional): <sup>23</sup>	<u>Soporte de Open vSwitch – vSwitch Controller</u>			*
		Soporte para conmutador distribuido			*
		Soporte para conmutadores distribuidos de terceros.			*
	Soporte para tecnologías de agrupación de NIC ( <u>NIC teaming</u> ) (Obligatorio): <sup>24</sup>	En modo independiente del conmutador.		*	
		En modo dependiente del conmutador:	*		
		- <u>Static teaming</u> (IEEE 802.1ax)	*		
		- <u>Dynamic teaming</u> (IEEE 802.1ax)	*		
	Soporte de los protocolos:	Red de Área local Virtual (VLAN <sup>25</sup> ) (IEEE 802.1q)	*		

<sup>19</sup> Reduce la gestión de la RAM y por tanto mejora el desempeño del hipervisor y las aplicaciones/servicios.

<sup>20</sup> Capacidad que permite la reducción de la sobrecarga provocada por la virtualización asociada a la virtualización de las tablas de memoria. Reduce el overhead asociado al procesamiento de la RAM.

<sup>21</sup> Capacidad de brindar más espacio de almacenamiento del que realmente existe, mediante el dimensionamiento dinámico de los discos virtuales en función de la demanda, en vez de aprovisionar de forma total la capacidad solicitada.

<sup>22</sup> Capacidad de des-aprovisionar el espacio de almacenamiento que no está siendo explotado. Requiere soporte del HW.

<sup>23</sup> Alternativa ante la gestión de los conmutadores virtuales de forma individual por nodo. Típicamente incluye funcionalidades de red avanzadas y opciones extensibles a soluciones de terceros.

<sup>24</sup> Capacidad de agrupar NIC con políticas de balance de carga y tolerancia a fallos.

<sup>25</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Virtual Local Area Network.

		VLAN privadas (PVLAN) <sup>26</sup> <sup>27</sup>		*	
--	--	---	--	---	--

A<sub>SA</sub>: Indica el soporte de RF que soporta la combinación CMP-hipervisor-SA que tributan a la automatización y a la elasticidad. La Tabla 2 muestra los RF propuestos a considerar. A<sub>SA</sub> debe tomar el valor de la sumatoria de los pesos de los RF soportados.

Tabla 2. RF considerados de impacto en la elasticidad soportados por CMP-hipervisor-sistema de almacenamiento

Categorías	RF	Clasificación		
		Obligatorio (Peso 3)	Recomendable (Peso 2)	Opcional (Peso 1)
Soporte de la de duplicación <sup>28</sup> .			*	
Soporte de la compresión de datos.		*		
<u>Thin provisioning</u> <sup>29</sup>		*		
Soporte para <u>trim</u> <sup>30</sup> <u>provisioning</u>				*
Soporte de rebalanceo de datos <sup>31</sup> (Obligatorio):	- manual	*		
	- automático		*	

A<sub>Red</sub>: Indica el soporte de RF que soporta la combinación CMP-hipervisor-red que tributan a la automatización y a la elasticidad. La Tabla 3 muestra los RF propuestos a considerar. A<sub>Red</sub> debe tomar el valor de la sumatoria de los pesos de los RF soportados.

<sup>26</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Private VLAN.

<sup>27</sup> Permite particionar una VLAN mediante la restricción de que un puerto solo se comunique con un enlace de subida evitando las comunicaciones extremo-extremo, es decir, aislar IV de una misma VLAN.

<sup>28</sup> Es un método que permite reducir el espacio de almacenamiento usado mediante la eliminación de datos redundantes. Reduce, por ende, espacio de almacenamiento y ancho de banda de la red para la transferencia de datos. [7]

<sup>29</sup> Aprovechona el espacio de almacenamiento solicitado, pero realmente utiliza el espacio de almacenamiento en función de la demanda real, lo que contribuye a la escalabilidad del SA. [8]

<sup>30</sup> Capacidad de desaprovechona el espacio de almacenamiento que no está siendo explotado. [8]

<sup>31</sup> Ante la agregación y desagregación de un nodo.

Tabla 3. RF considerados de impacto en la elasticidad soportados por CMP-hipervisor-red

Categorías	RF	Clasificación		
		Obligatorio (Peso 3)	Recomendable (Peso 2)	Opcional (Peso 1)
Soporte de diferentes protocolos para la virtualización de redes:	- VLAN	*		
	- PVLAN			*
Tecnologías “ <u>overlay</u> ”:	- <u>Virtual Extensible Local Area Network (VXLAN)</u>		*	
	- Virtualización de Red mediante Encapsulación de Enrutamiento Genérico (NVGRE <sup>32</sup> )		*	

### Pruebas

Pruebas para evaluar la elasticidad de una NP en desarrollo:

Bajo la perspectiva del CSU:

Nombre de la prueba: Evaluación de la elasticidad de una NP en desarrollo desde la perspectiva del CSU.

Tipo de prueba: Elasticidad.

Objetivo de la prueba: Evaluar la elasticidad de una NP en desarrollo desde la perspectiva del CSU.

Duración: Relativa, debido a las diferencias entre las velocidades de las operaciones en diferentes infraestructuras de NP.

Número de iteraciones: 10

<sup>32</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Network Virtualization using Generic Routing Encapsulation.

Parámetros a ser medidos y medios a emplear: Métricas y la herramienta de benchmarking propuestas en [6].

Descripción de la prueba:

Instalación y configuración:

1. Instalar BUNGEE de acuerdo al escenario y el CMP empleando las instrucciones del desarrollador.
2. Crear los perfiles de carga en BUNGEE.

Pruebas:

1. Aplicar los perfiles de carga:
  1. Aplicar perfiles de carga ascendente durante 30 minutos y posteriormente detener las pruebas por un intervalo de 10 minutos. Aplicar perfiles de carga descendente durante 30 minutos y posteriormente detener las pruebas durante 10 minutos.
  2. Aplicar perfiles de carga por picos durante 30 minutos en intervalos de 5 minutos cada uno de carga y descanso.
  3. Esperar un intervalo de 10 minutos y emplear perfiles de sobrecarga, durante 10 minutos con descansos de 1 minuto.
  4. Recoger las métricas definidas de los generadores de carga y las herramientas de gestión.
2. Obtener resultados del portal web de BUNGEE.

Limpieza del escenario:

1. Detener todas las IV desplegadas y eliminarlas.
2. Eliminar nodos de BUNGEE.



### Cálculo y agregación de métricas:

1. Calcular la “Desviación de la elasticidad ( $\delta$ )” con los resultados obtenidos en las iteraciones.

### Análisis de los resultados:

1. Debe ser evaluado si los resultados satisfacen los requerimientos y necesidades de la entidad.
2. Para ser integrado al sistema de evaluación final se debe hallar finalmente el valor de Elasticidad del CSU ( $Elast_{CSU}$ ) como indica la Fórmula 12.

$$Elast_{CSU} = 1 - \frac{\sigma}{100} \quad (12)$$

### Bajo la perspectiva del CSP:

Nombre de la prueba: Evaluación de la elasticidad de una NP en desarrollo desde la perspectiva del CSP.

Tipo de prueba: Elasticidad.

Objetivo de la prueba: Evaluar la elasticidad de una NP en desarrollo desde la perspectiva del CSP.

Duración: Relativa, debido a las diferencias entre las velocidades de las operaciones en diferentes infraestructuras de NP.

Número de iteraciones: Diez para cada medición de latencias; para el chequeo de recursos consumidos/recursos encendidos se propone un periodo de tiempo que coincida con una jornada laboral típica de la entidad para la cual se diseña la NP.

Parámetros a ser medidos y medios a emplear:

Las métricas y herramientas a emplear se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Métricas y herramientas para evaluar la elasticidad bajo la perspectiva del CSP

Métricas	Herramienta
<b>Primaria</b>	
Elasticidad	Agregación de las métricas secundarias.
<b>Secundarias</b>	
Precisión (P):	
Re y Rc	1. Interfaces del CMP 2. Interfaces del SA 3. Sistemas de gestión de redes
Velocidad (T):	
Taprov y Tdesapro	1. CBTOOL, y/o 2. <u>Logs</u> del CMP
Tincre y Tdecre	3. <u>Logs</u> del CMP
Tmigra	4. CBTOOL, y/o 5. <u>Logs</u> del CMP
Automatización (A):	
ACMP/Hip	Evaluar el soporte de los RF planteados por el CMP-hipervisor.
ASA	Evaluar el soporte de los RF planteados por el CMP-hipervisor-SA.
ARed	Evaluar el soporte de los RF planteados por el CMP-hipervisor-red.

Descripción de la prueba:

Instalación y configuración:

1. Se recomienda emplear CBTOOL, con un CMP y dos nodos de cómputo, configurándolo con una Aplicación Virtualizada (Vapp).
2. Crear una plantilla de IV para emplear con el CMP en caso de incompatibilidad con CBTOOL y para comprobar sus valores.

Pruebas:

1. Cálculo de la Precisión:

La Precisión (P) de la infraestructura debe ser calculada como el promedio clásico o ponderado de la P de los diferentes subsistemas de una IV: CPU, RAM, capacidad de almacenamiento y Ancho de banda (BW<sup>33</sup>). Por tanto, se propone que, en un mismo

<sup>33</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Bandwidth.

periodo de tiempo, con el  $T_s$  del CMP sean chequeados los  $R_c$  y  $R_e$  de cada subsistema, y para cada uno sea calculada la  $P$  con la Fórmula 9.

## 2. Cálculo de la Velocidad:

En la medición de los diferentes tiempos se propone que estos valores sean tomados con CBTOOL y que sean comparados con las estadísticas de los sistemas de gestión de la infraestructura, como el CMP.

Al igual que en el cálculo de la  $P$ , se propone sean medidos los tiempos de incremento y decremento de cada uno de los recursos que componen una IV. Deben ser realizadas diez iteraciones por cada recurso y tomar como valor el 90% de las mediciones ordenadas de menor a mayor, 90 percentil. Entre iteraciones esperar cinco minutos. El incremento y decremento de recursos deben ser automáticos en función de la demanda y en calientes para tributar al concepto de elasticidad. Una vez obtenidos los tiempos de cada recurso estos deben ser promediados de forma clásica o ponderada. Los  $T_{aprov}$ ,  $T_{desaprov}$  y  $T_{migra}$  se aplican a IV. Se propone igual que para cada tiempo se ejecuten diez iteraciones y se tome el 90 percentil de ellas. Finalmente deben ser agregados los resultados en la métrica primaria de elasticidad.

## 3. Cálculo de la Automatización:

La Automatización debe ser evaluada evaluando el soporte brindado a los RF como indica la Fórmula 11. Los valores finales deben ser promediados de forma clásica o ponderada en función de los intereses de la entidad.

## 4. Limpieza del escenario:

Detener todas las IV desplegadas y eliminarlas.

## 6. Cálculo y agregación de métricas:

Con los valores de P, T, Ts y A, puede ser calculada la Elasticidad.

## 7. Análisis de los resultados.

1. Debe ser evaluado si los resultados satisfacen los requerimientos y necesidades de la entidad.
2. Para ser integrado al sistema de evaluación final se debe hallar finalmente el valor de Elasticidad del CSP ( $Elast_{CSP}$ ) como indica la Fórmula 13.

$$Elast_{CSP} = 1 - \frac{1}{1+Elasticidad} \quad (13)$$

### Prueba para evaluar la elasticidad de una NP en producción:

La prueba para NP que se encuentren en producción es igual que para entornos en desarrollo, salvo que las métricas serán extraídas de los sistemas de gestión, en especial el CMP, para evitar agregar un software (SW) más a la NP que pueda interferir con el desempeño de las cargas de trabajo. Deben ser empleadas IV de pruebas, o IV con aplicaciones de la entidad, pero que no afecten la Calidad de Servicio (QoS<sup>34</sup>) y la Calidad de Experiencia (QoE<sup>35</sup>).

### Categoría de Personalización

La categoría de Personalización indica las capacidades que brinda el sistema para adaptar tecnológicamente la infraestructura de la NP, así como sus servicios de soporte y de usuarios, ante las necesidades presentes y futuras de la entidad cliente. Posee como atributos a la interoperabilidad, la flexibilidad y la compatibilidad. La Fórmula 14

---

<sup>34</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Quality of Service.

<sup>35</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Quality of Experience.

indica su valor numérico en función de la evaluación de sus atributos. De igual forma puede emplearse la media ponderada.

$$Personalización = \frac{Flexibilidad + Interoperabilidad + Portabilidad + Compatibilidad}{4} \quad (14)$$

La Personalización se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < Personalización * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < Personalización * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $Personalización * 100\% \leq 80\%$ .

#### Atributo de Flexibilidad

Indica las capacidades que brinda la infraestructura de la NP para que tanto el CSU, como el CSP, personalicen los servicios de usuario y de soporte respectivamente, así como el HW subyacente, en función de sus objetivos y necesidades.

#### Métricas y procedimiento de evaluación

La métrica que se propone para evaluar el cumplimiento de la Flexibilidad en el subsistema de los recursos de cómputo es “Flexibilidad” definida por la Fórmula 15<sup>36</sup>:

$$Flexibilidad = \frac{NF_{comp} + NF_{hip} + NF_{SA} + NF_{red} + NF_{CMP}}{5} \quad (15)$$

En donde:

NF<sub>comp</sub>: Es el nivel de flexibilidad de los nodos de cómputos.

NF<sub>hip</sub>: Es el nivel de flexibilidad de la plataforma de virtualización.

NF<sub>SA</sub>: Es el nivel de flexibilidad del SA, llevado a la escala entre 0 y 1.

---

<sup>36</sup> De igual forma puede emplearse la media ponderada.

NF<sub>red</sub>: Es el nivel de flexibilidad de la red, llevado a la escala entre 0 y 1.

NF<sub>CMP</sub>: Es el nivel de flexibilidad del CMP, llevado a la escala entre 0 y 1.

La flexibilidad de la infraestructura de la NP se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < \text{Flexibilidad} * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < \text{Flexibilidad} * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $\text{Flexibilidad} * 100\% \leq 80\%$ .

#### Atributo de Interoperabilidad

La Organización Internacional de Estandarización (ISO<sup>37</sup>) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) la definen como la capacidad de la infraestructura de la nube para que: [9], [10]

1. Un CSU interactúe con un servicio de nube e intercambie información mediante métodos establecidos y obtenga resultados predecibles. El CSU no debe emplear de forma necesaria soluciones propietarias y/o altamente especializadas. Implica que los servicios operen con especificaciones acordadas y de ser posibles estandarizadas.
2. Un servicio debe ser capaz de trabajar con otros servicios de nube, ya sea a través de interacciones inter-nube entre CSP, o porque los CSU utilizan diferentes servicios de nube para lograr sus objetivos.
3. Un CSU interactúe con las facilidades de gestión de un CSP o varios CSP, a través de una interfaz robusta e interoperable, que no requiera negociar con los CSP de una forma especializada.

---

<sup>37</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Internacional Organization for Standardization.

### *Métricas y procedimiento de evaluación*

La interoperabilidad de la NP se encuentra en función de tres de sus subsistemas, principalmente: CMP, SA y red intra-nube. En consecuencia, su métrica primaria, Nivel de Interoperabilidad de la NP ( $NI_{NP}$ ), se expresa como se indica en la Fórmula 16<sup>38</sup>.

$$NI_{NP} = \frac{NI_{SA} + NI_{Red} + NI_{CMP}}{3} \quad (16)$$

En donde:

$NI_{CMP}$ : Es el nivel de interoperabilidad del CMP, llevado a la escala entre 0 y 1.

$NI_{Red}$ : Es el nivel de interoperabilidad de la red, llevado a la escala entre 0 y 1.

$NI_{SA}$ : Es el nivel de interoperabilidad del SA, llevado a la escala entre 0 y 1.

La interoperabilidad de la infraestructura de la NP se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < NI_{NP} * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < NI_{NP} * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $NI_{NP} * 100\% \leq 80\%$ .

### *Atributo de Portabilidad*

Indica la capacidad de la NP de soportar el movimiento de aplicaciones y datos entre diferentes nubes de forma fácil y con las interrupciones mínimas indispensables. Las facilidades estarán en función del soporte de los RF necesarios por parte de la integración del CMP con los subsistemas de: plataforma de virtualización y sistema de almacenamiento, ideal, o de forma independiente por estos bloques.

---

<sup>38</sup> De igual forma puede emplearse la media ponderada.

#### *Métricas y procedimiento de evaluación*

La Fórmula 17<sup>39</sup> muestra la expresión de la métrica primaria de la portabilidad de la NP,

Nivel de Portabilidad del Sistema (NP<sub>s</sub>):

$$NP_s = \frac{NP_{hip} + NP_{SA}}{2} \quad (17)$$

En donde:

NP<sub>hip</sub>: Es el nivel de portabilidad de la combinación CMP-plataforma de virtualización, o solo la plataforma de virtualización, llevado a la escala entre 0 y 1.

NP<sub>SA</sub>: Es el nivel de portabilidad de la combinación CMP-sistema de almacenamiento, o solo sistema de almacenamiento, llevado a la escala entre 0 y 1.

#### *Atributo de Compatibilidad*

Indica el grado de soporte que posee la infraestructura de la NP a tecnologías y soluciones líderes que pueden conformar sus subsistemas.

#### *Métricas y procedimiento de evaluación*

Debido a que en el paradigma de la Computación de la Nube (CN) el CMP centraliza la Operación, Administración y Mantenimiento (OAM) de los servicios de usuario y soporte, así como de la infraestructura TIC subyacente se considera que la compatibilidad de la NP debe estar definida por la compatibilidad del CMP.

---

<sup>39</sup> De igual forma puede emplearse la media ponderada.



## Dimensión de QoS

Indica los requerimientos de desempeño y disponibilidad que debe cumplir los servicios de la NP. La Fórmula 18<sup>40</sup> indica su valor numérico en función de la evaluación de sus categorías.

$$Desempeño = \frac{\sum_{i=1}^n Categoría_i}{n} \quad (18)$$

En donde:

Categoría<sub>i</sub>: es la evaluación final otorgada a las categorías de QoS: desempeño y disponibilidad.

n: número de atributos total.

La QoS se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < QoS * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < QoS * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $QoS * 100\% \leq 80\%$ .

## Categoría de Desempeño

La categoría de desempeño indica la capacidad del sistema de lograr los requerimientos relacionados con eficiencia y poder de cómputo. La Fórmula 19<sup>41</sup> indica su valor numérico en función de la evaluación de sus atributos.

$$Desempeño = \frac{\sum_{i=1}^n Atributo_i}{n} \quad (19)$$

En donde:

---

<sup>40</sup> De igual forma puede emplearse la media ponderada.

<sup>41</sup> De igual forma puede emplearse la media ponderada.

Atributo<sub>i</sub>: es la evaluación final otorgada a los atributos de la categoría de desempeño: capacidad, throughput, tiempo de respuesta, demoras y eficiencia.

n: número de atributos total.

El desempeño se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < \text{Desempeño} * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < \text{Desempeño} * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $\text{Desempeño} * 100\% \leq 80\%$ .

#### Atributo de Capacidad

Indica la capacidad de recursos de cómputo, almacenamiento, red, así como número de clientes y usuarios que posee la NP en un momento de tiempo dado. Los datos deben ser extraídos de los atributos de capacidad de cada uno de los subsistemas que componen la NP: CMP-plataforma de virtualización, nodos de cómputo, SA y red intra-nube.

#### Métricas y procedimiento de evaluación

La métrica que se propone para evaluar el atributo de capacidad en un diseño de NP es el “Factor de Precisión (FP)”. FP indica cuánto se ajusta la capacidad lograda<sup>42</sup>, a los recursos estimados. Su valor constituye el peor valor de precisión de los subsistemas que componen la NP, como muestra la Fórmula 20.

$$FP = \text{valor\_máx}\{FP_{CMP,hip}; FP_{RC}; FP_{SA}; FP_{Red}\} \quad (20)$$

En donde:

---

<sup>42</sup> O existente, si se fuese a caracterizar un sistema inicial.

$FP_{CMP,hip}$ : Factor de precisión de la combinación de los subsistemas de CMP y plataforma de virtualización. Estos subsistemas en su atributo de capacidad no poseen la métrica de FP, por lo que  $FP_{CMP,hip}$  debe adquirir un valor de 0 si satisfacen los requerimientos de la NP.

#### Atributo de Utilización

Indica el índice de utilización de los recursos de cómputo de la infraestructura física y virtual de la NP.<sup>43</sup>

#### Métricas y procedimiento de evaluación

Las métricas pertenecientes al atributo de utilización de la NP se corresponden con las métricas de utilización declaradas en los subsistemas de: nodos de cómputo, SA y red. Además, de cada IV, y servicios de Infraestructura como Servicio (IaaS<sup>44</sup>) y Almacenamiento como Servicio (DSaaS<sup>45</sup>) aprovisionados a clientes/usuarios, deben obtenerse las métricas de utilización mostradas en las Tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 5. Métricas de utilización por IV y servicio de IaaS aprovisionado a cliente/usuario

CPU				RAM (MB)				Almacenamiento								Red BW (Mbps)							
								Capaci dad (GB)		<u>Throughput</u>						Transmisión (TX)				Recepción (RX)			
Asignado (vCPU)	u-prom	N%	u-máx	Asignado	u-prom	N%	u-máx	Asignado	Utilizado	Operaciones de Entrada/Salida por Segundo (IOPS <sup>46</sup> )	<u>Throughput</u> (Mbps)												
											Asignado	u-prom	N%	u-máx	Asignado	u-prom	N%	u-máx					

<sup>43</sup> No se incluye en la evaluación y/o caracterización inicial.

<sup>44</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Infrastructure as a Service.

<sup>45</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Data Storage as a Service.

<sup>46</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Input/Output Operations Per Second.

[illegible]

Para obtener el throughput de los subsistemas CPU, RAM, SA, red, así como otros como la Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU<sup>50</sup>), estos valores deben ser medidos en las IV o nodos físicos, en función de la infraestructura que se esté brindando como servicio, recursos virtuales o físicos respectivamente. Se propone que de ser posible sean identificadas las posibles aplicaciones/servicios para de esta manera identificar con mayor precisión los perfiles de carga que soportará la infraestructura, y de esta forma seleccionar la micro-benchmark que pueda demostrar con mayor fiabilidad el poder de cómputo que se obtendrá de acuerdo a los intereses de la entidad. Las métricas deben ser tomadas sobre el HW, o al menos uno semejante, en donde correrán las aplicaciones/servicios a soportar.

El throughput de cada subsistema debe ser evaluado mediante la métrica secundaria indicada en la Fórmula 23:

$$Tk = \frac{\sum_{p=1}^n Tp}{n} \quad (23)$$

En donde:

T<sub>p</sub>: throughput del subsistema en cuestión, de un tipo de IV en específico. El tipo de IV se refiere a la capacidad de recursos virtuales que posee, el tamaño<sup>51</sup>. Para ello de ser posible debe ser evaluado el throughput de cada subsistema en cada tipo de IV a desplegar en la NP, de lo contrario, se propone ejecutar la prueba en los tipos de IV que propone el CMP, o emplear los tamaños estándares de facto mostrados en la Tabla 7. T<sub>p</sub> debe ser el 95% de una serie de iteraciones sobre el mismo tipo de IV.

Tabla 7. Tamaños estándares de facto de IV

<sup>50</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Graphics Processing Unit.

<sup>51</sup> Se pudiese distinguir entre las prestaciones de los recursos virtuales asignados si las IV fuesen a ser desplegadas en diferentes tipos de HW en función del patrón de tráfico que recibirán. No es la generalidad en las pequeñas y medianas empresas.

Nombre	vCPU	RAM (MB)	Disco (GB)
micro	1	512	1
pequeña	1	2048	20
mediana	2	4096	40
grande	4	8192	80
Xgrande	8	16384	160

## Pruebas

## Desarrollo

Nombre de la Prueba: Comprobación del throughput de la infraestructura de la NP.

Tipo de prueba: Microbenchmark.

Objetivo de las pruebas: Comprobar el throughput de la infraestructura de la NP.

Número de iteraciones: Cinco.

Parámetros a ser medidos y medios a emplear:

La métrica primaria y las secundarias a medir se encuentran definidas en el [acápito anterior \(Métricas\)](#). Para medir  $T_k$  y  $T_p$  se deben seleccionar las micro-benchmarks propuestas en la Tabla 8.

Tabla 8. Micro-benchmarks a realizar.

Subsistema	Operación	Unidad de medida	Herramienta
Throughput del procesador	Decodificador de contraseñas	C/S reales	PTS
	NAS en paralelo	MBps	
	Gráficos en 2D, 3D	Iteraciones/minuto	
	Codificación multimedia	Cuadros/segundo	
	Compresión de archivos 7-zip	MIPS	
	Renderizado	Cuadros/segundo	
	Generación de claves criptográficas.	Caracteres/segundo	
	Transacciones a BD	Transacciones/segundo	
	Peticiones web	Peticiones/segundo	
	Operaciones de memoria	MB/s	
	Motor de análisis de ajedrez	Nodos/segundo	
	Dhrystone 2 usando variables de registro	Lps	Unixbench
	Algoritmo Whetstone con doble precisión	Millones de Instrucciones Whetstone Por Segundo (MWIPS)	
	Exec1 Throughput	Lps	
	File Copy con diferentes tamaños de archivo	KBps	

	Throughput de la cola	Lps	
	Cambios de contexto de la cola	Lps	
	Creación de procesos	Lps	
	Ejecución de scripts	Lpm	
	Sobre encabezado de llamadas al sistema	lps	
	Throughput computacional del kernel	MFlops	Scimark
	HPC	GFlops	HPCC
	Rendimiento de variable de coma flotante de Mandelbrot, Sharpen filter, Blur filter, SGEMM, DGEMM, SFTT, DFTT.	GFlops	Geekbench
	Rendimiento de variable de coma flotante de BlackScholes	Mnodos/s	
	Rendimiento de variable de coma flotante de N-Body y Ray-Trace	Mpares/s	
	Compresión/descompresión de imágenes JPEG y PNG	Mpixels/s	
	Compresión y descompresión Bzip2	MB/s	
	Sobel	Mpixels/s	
	Lua	MB/s	
	Dijkstra	Mpares/s	
<u>Throughput</u> de E/S de la RAM	Benchmark para operaciones de variable entera, double y coma flotante	MB/s	PTS
	Pruebas al desempeño caché de la memoria		
	Operaciones STREAM		
<u>Throughput</u> de E/S en disco	Peticiones web	Peticiones/segundo	PTS
	Pruebas básicas para la BD	Transacciones/segundo	PTS
	Pruebas avanzadas para BD	Bloqueos a la BD, peticiones de lectura /escritura, transacciones/s, consultas realizadas	Sysbench
	Pruebas de envejecimiento del SA	MB/s	PTS
	Simulación del comportamiento de servidores web y correo electrónico	Transacciones/segundo	PTS
	Llamadas a la SAN	IOPS y MB/s	FIO
	Pruebas de uso de disco asincrónicas	MB/s	PTS
	Ancho de banda total del disco	KB/s	FIO o Bonnie++ (FIO es más configurable y flexible, pero tiene una usabilidad menor que Bonnie++)
	Cantidad total de E/S de datos	KB	
	Ancho de banda de operaciones de lectura, escritura, relectura y	%, KB/s	

	reescritura secuenciales y aleatorias y búsqueda de archivos.		FIO
	Utilización del CPU para cada operación realizada	%	
	Accesos a archivos en servidor		
<u>Throughput</u> de la red	<u>Throughput</u> de la red	Mbits/s	Iperf

Procedimiento:

1. Deben identificarse las aplicaciones/servicios que se soportarán en la NP, así como el dimensionamiento de las IV sobre las cuales se desplegarán.
2. En base a esta información se propone que sean elegidas las micro-benchmarks a aplicar en cada subsistema, y las características de las IV sobre las cuales se ejecutarán las pruebas. De lo contrario emplear los tipos de IV que propone el CMP, o emplear los tamaños estándares de facto mostrados en la Tabla 7.
3. Instalación y configuración:
  1. Iniciar las IV con el dimensionamiento definido.
  2. Actualizar paquetes a su versión más reciente.
  3. Instalar herramientas de micro-benchmark.
4. Pruebas:
  1. Ejecutar herramientas de benchmarks definidas.
  2. Registrar los resultados de las métricas.
5. Caso de throughput de red:

Se necesitan varias IV para lograr métricas de throughput de red precisas. El nivel de profundidad se realiza a petición del cliente.

Instalación y configuración:



1. Definir IV a considerar como origen y destino. Para esto se recomienda seleccionar aquellas IV que contengan servicios que se interrelacionen y realicen tráfico entre ellos, como el CMP y Bases de Datos (BD).
2. Pruebas:
  1. Ejecutar Iperf en modo cliente y servidor en cada una de las IV definidas para ello.
3. Limpieza del escenario:
  1. Detener todas las IV desplegadas y eliminarlas.
  2. Detener todos los procesos de generación de carga dispuestos.
4. Cálculo y agregación de métricas:
  1. Calcular el throughput de cada subsistema en cada tipo de IV ( $T_p$ ).  $T_p$  debe ser el 95% de los valores de throughput obtenidos en las iteraciones sobre el mismo tipo de IV.
  2. Normalizar el valor  $T_p$ , mediante su división por el valor de throughput esperado como requerimiento de diseño<sup>52</sup>. De no tener este valor definido, debe emplearse el valor de throughput máximo obtenido en las pruebas.
  3. Obtener el throughput de cada subsistema ( $T_k$ ) mediante la Fórmula 23.
  4. Obtener el Throughput de la infraestructura de la NP mediante las Fórmulas 21 o 22.
5. Análisis de los resultados:

Debe evaluarse si los valores de throughput por subsistema satisfacen los requerimientos o metas establecidos a cumplir por el diseño. De ser la respuesta

---

<sup>52</sup> De obtenerse un valor superior a 1, se debe adoptar como resultado 1.

negativa, la evaluación del Throughput de la infraestructura de la NP es de 0. De lo contrario recibe el valor obtenido en el paso 4 de la Tarea 4.

#### Producción

Se consideran debe ser la misma que para entornos de desarrollo, con la especificación de que su desarrollo ha de realizarse en los momentos de menos carga de la infraestructura.

#### Atributo de Tiempo de Respuesta

Indica el tiempo que transcurre entre la solicitud de recursos de cómputo a la NP y su aprovisionamiento, así como el intervalo de tiempo que tardan los recursos otorgados en ejecutar diferentes operaciones. Debido a que el aprovisionamiento de recursos abarca tanto el suministro de un conjunto de recursos virtuales, de manera general en forma de IV, así como la modificación de estos tanto en tipos como en cantidad, se proponen las siguientes métricas para evaluar el tiempo de respuesta de una NP con soporte para IaaS:

La Fórmula 24 expresa la métrica primaria, mientras la Fórmula 25 muestra su versión ponderada:

$$TR_{IaaS} = 1 - \frac{\sum_{k=0}^n TR_k}{n} \quad (24)$$

$$TR_{IaaS} = 1 - \frac{\sum_{k=0}^n w_k * TR_k}{\sum_{k=0}^n w_k} \quad (25)$$

En donde, métricas secundarias:

TR<sub>k</sub>: tiempo de respuesta de los componentes:

1. TR<sub>ADIV</sub>: Tiempo de aprovisionamiento/desaprovisionamiento de IV, expresada en la Fórmula 26, igual puede emplearse su versión ponderada.

$$TR_{ADiv} = \frac{TR_{Aiv} + TR_{Div}}{2} \quad (26)$$

En donde:

$TR_{Aiv}$ : Tiempo de aprovisionamiento de IV, expresada en la Fórmula 27, igual puede emplearse su versión ponderada.

$$TR_{Aiv} = \frac{\sum_{p=1}^n TR_{Aivp}}{n} \quad (27)$$

En donde:

$TR_{Aivp}$ : tiempo de aprovisionamiento/desaprovisionamiento de cada tipo de IV a desplegar en la NP. Deben realizarse varias mediciones de los tiempos de aprovisionamientos para cada tipo de IV. De cada tipo de IV se debe obtener: el 95 percentil de los valores obtenidos, el máximo tiempo de respuesta, y el valor normalizado del tiempo de respuesta de ese tipo, resultante de la división del 95 percentil y el valor máximo, valor que toma la métrica  $TR_{Aivp}$ .

$TR_{Div}$ : Tiempo de desaprovisionamiento de IV, expresada en la Fórmula 28, igual puede emplearse su versión ponderada.

$$TR_{Div} = \frac{\sum_{p=1}^n TR_{Divp}}{n} \quad (28)$$

En donde:

$TR_{Divp}$ : tiempo de desaprovisionamiento de cada tipo de IV a desplegar en la NP. Deben realizarse varias mediciones de los tiempos de aprovisionamientos para cada tipo de IV. De cada tipo de IV se debe obtener: el 95 percentil de los valores obtenidos, el máximo tiempo de respuesta, y el valor normalizado del tiempo de respuesta de ese tipo, resultante de la división del 95 percentil y el valor máximo, valor que toma la métrica  $TR_{Divp}$ .

2.  $TR_{mr}$ : Tiempo de reconfiguración de recursos aprovisionados. Abarca el tiempo de incremento/decremento de recursos virtuales, ya sea en tipo de recursos, como en cantidad de estos, se expresa como indica la Fórmula 29:

$$TR_{mr} = \frac{TR_{ir} + TR_{dr}}{2} \quad (29)$$

En donde:

$TR_{ir}$ : tiempo que demora la infraestructura en incrementar recursos de cómputo, se expresa como indica la Fórmula 30:

$$TR_{ir} = \frac{\sum_{k=1}^n TR_{ik}}{n} \quad (30)$$

$TR_{ik}$ : tiempo que demora la infraestructura en incrementar cada tipo de recursos, subsistemas, como CPU, RAM, capacidad de almacenamiento y NIC en cada tipo de IV. De cada subsistema de cada tipo de IV se debe obtener: el 95 percentil de los valores obtenidos, el máximo tiempo de respuesta, y el valor normalizado del tiempo de respuesta de ese tipo, resultante de la división del 95 percentil y el valor máximo, valor que toma la métrica  $TR_{ik}$ .

$TR_{dr}$ : tiempo que demora la infraestructura en decrementar recursos de cómputo, se expresa como indica la Fórmula 31:

$$TR_{dr} = \frac{\sum_{k=1}^n TR_{dk}}{n} \quad (31)$$

$TR_{dk}$ : tiempo que demora la infraestructura en decrementar cada tipo de recursos, subsistemas, como CPU, RAM, capacidad de almacenamiento y NIC en cada tipo de IV. De cada subsistema de cada tipo de IV se debe obtener: el 95 percentil de los valores obtenidos, el máximo tiempo de respuesta, y el valor normalizado del tiempo de respuesta de ese tipo, resultante de la división del 95 percentil y el valor máximo, valor que toma la métrica  $TR_{dk}$ .

3.  $TR_{sub}$ : tiempo de respuesta de los diferentes subsistemas a aprovisionar: CPU, RAM, almacenamiento y red, se expresa como indica la Fórmula 32:

$$TR_{sub} = \frac{\sum_{k=1}^n TR_{sub_k}}{n} \quad (32)$$

$TR_{sub_k}$ : tiempo que demoran los diferentes subsistemas como CPU, RAM, SA y red, en la ejecución de operaciones, se expresa como indica la Fórmula 33:

$$TR_{sub_k} = \frac{\sum_{p=1}^n TR_{kp}}{n} \quad (33)$$

En donde:

$TR_{kp}$ : tiempo de respuesta de un subsistema en un tipo de IV. De cada subsistema en cada tipo de IV se debe obtener: el 95 percentil de los valores obtenidos, el máximo tiempo de respuesta, y el valor normalizado del tiempo de respuesta de ese tipo, resultante de la división del 95 percentil y el valor máximo, valor que toma la métrica  $TR_{kp}$ .

## Pruebas

### Desarrollo

Nombre de la Prueba: Evaluación del tiempo de respuesta de la infraestructura de la NP.

Objetivo de la prueba: Identificar si los tiempos de respuesta de la infraestructura de la NP satisface los requerimientos de la entidad.

Descripción de la prueba:

La prueba se divide en tres etapas fundamentales:

1. Medición del tiempo de aprovisionamiento/desaprovisionamiento de IV.
2. Medición del tiempo de incremento/decremento de recursos virtuales.
3. Medición del tiempo de respuesta de los diferentes subsistemas.

Etapa 1: Medición del tiempo de aprovisionamiento/desaprovisionamiento de recursos virtuales:

Tipo de prueba: Monitorización.

Número de iteraciones: Cinco.

Parámetros a ser medidos y medios a emplear: la Tabla 9 los indica.

Tabla 9. Parámetros y medios a emplear en la medición del tiempo de aprovisionamiento/desaprovisionamiento de recursos virtuales

Métrica	Operación	Unidad de Medida	Herramienta
$TR_{Div}$	Tiempo de desaprovisionamiento de cada tipo de IV a desplegar en la NP.	Segundos	Se recomienda emplear CBTOOL en su apartado de tareas administrativas. Para aquellos diseños no compatibles con la herramienta, los datos también pueden ser extraídos de los <u>logs</u> del CMP.
$TR_{Aiv}$	Tiempo de aprovisionamiento de cada tipo de IV a desplegar en la NP.		

Procedimiento:

1. Deben identificarse las aplicaciones/servicios que se soportarán en la NP, así como el dimensionamiento de las IV sobre las cuales se desplegarán. De lo contrario emplear los tipos de IV que propone el CMP, o emplear los tamaños estándares de facto mostrados en la Tabla 7.
2. Instalación y configuración:  
  
Se propone emplear CBTOOL, empleando una IV como orquestador de CBTOOL y las IV de prueba, con como mínimo dos nodos de cómputo. De no emplearse CBTOOL debido a problemas de compatibilidad, emplear el CMP para realizar las pruebas.
3. Ejecución de las pruebas:

Solicitar y monitorizar desde ese instante, el despliegue de cada tipo de IV, y de igual forma cuando se indica la eliminación de IV. Las órdenes de despliegue/eliminación se deben realizar desde el orquestador, los nodos de cómputo ejecutan las tareas y se realizan las mediciones. La BD del orquestador almacena los resultados. De no emplearse CBTOOL, emplear los logs del CMP para obtener la fecha y hora de despliegue y encendido/eliminación de las IV.

4. Limpieza del escenario:

Detener las IV y eliminarlas.

5. Cálculo y agregación de métricas:

Calcular el tiempo de aprovisionamiento/desaprovisionamiento de IV,  $TR_{Aiv}/TR_{Div}$ , y calcular  $TR_{ADiv}$ , como se explica en el epígrafe de las métricas del tiempo de respuesta. Si el resultado sobrepasa los 15 minutos,  $TR_{Aiv}$  debe tomar el valor de cero.

Etapas 2: Medición del tiempo de incremento/decremento de recursos virtuales:

Tipo de prueba: Monitorización.

Número de iteraciones: Cinco.

Parámetros a ser medidos y medios a emplear: La Tabla 10 indica las métricas y herramientas.

Tabla 10. Métricas de incremento/decremento a evaluar por subsistemas, herramientas

Métrica <sup>53</sup>	Operación	Unidad de Medida	Herramienta
$TR_{icpu}$	Tiempo que demora la infraestructura en incrementar CPU.	Segundos	Se recomienda emplear CBTOOL en su apartado de tareas administrativas. Para aquellos diseños no compatibles con la herramienta, los datos
$TR_{iram}$	Tiempo que demora la infraestructura en incrementar capacidad de RAM.		

<sup>53</sup> Pueden ser agregados nuevos recursos a medir, se sigue el mismo procedimiento.

$TR_{ialma}$	Tiempo que demora la infraestructura en incrementar capacidad de almacenamiento.		también pueden ser extraídos de los <u>logs</u> del CMP.
$TR_{ibw}$	Tiempo que demora la infraestructura en incrementar la capacidad de Tx/Rx de red.		
$TR_{dcpu}$	Tiempo que demora la infraestructura en decrementar CPU.		
$TR_{dram}$	Tiempo que demora la infraestructura en decrementar capacidad de RAM.		
$TR_{dalma}$	Tiempo que demora la infraestructura en decrementar la capacidad de almacenamiento.		
$TR_{dbw}$	Tiempo que demora la infraestructura en decrementar la capacidad de Tx/Rx de red.		

#### Procedimiento:

1. Deben identificarse las aplicaciones/servicios que se soportarán en la NP, así como el dimensionamiento de las IV sobre las cuales se desplegarán. De lo contrario emplear los tipos de IV que propone el CMP, o emplear los tamaños estándares de facto mostrados en la Tabla 7.
2. Instalación y configuración: Se propone emplear CBTOOL, empleando una IV como orquestador de CBTOOL y las IV de prueba, con como mínimo dos nodos de cómputo. De no emplearse CBTOOL debido a problemas de compatibilidad, emplear el CMP para realizar las solicitudes de incremento/decremento de las IV.
3. Ejecución de las pruebas:  
Solicitar, y monitorizar desde ese instante, el incremento/decremento de recursos. Las órdenes de incremento/decremento se deben realizar desde el orquestador, los nodos



de cómputo ejecutan las tareas y en ellos se realizan las mediciones. La BD del orquestador almacena los resultados. De no emplearse CBTOOL, emplear los logs del CMP para obtener la fecha y hora de incremento/decremento de los recursos.

4. Limpieza del escenario: Detener las IV y eliminarlas.

5. Cálculo y agregación de métricas:

Calcular el tiempo de incremento/decremento de los recursos virtuales, TRmr, como se explica en el epígrafe de las métricas del tiempo de respuesta.

Etapas 3: Medición del tiempo de respuesta de los diferentes subsistemas:

Tipo de prueba: Micro-benchmark

Número de iteraciones: Cinco

Parámetros a ser medidos y medios a emplear: la Tabla 11 muestra las métricas y herramientas.

Tabla 11. Métricas y herramientas a emplear en las micro-benchmarks de tiempo de respuesta

Subsistema	Métrica	Operación	Unidad de medida	Herramienta
CPU	Tiempos de respuesta promedio, instantáneo y (95)N% percentil. Desviación estándar.	Compilación de un kernel de Linux	segundos	PTS
		Operaciones de coma flotante de tipo C-Ray		
		Compresión		
		Inserciones en BD		
		Creación de gráficos en 3D		
		Operaciones de HPC		
		Cifrado		
		Codificación de WAV a MP3 y WAV a FLAC		
		Codificación de audio y video por MPEG		
		Cálculo de números primos	Segundos, milisegundos y eventos por hilo de ejecución	Sysbench
		HPC	Segundos	HPCC
		Dhrystone 2 usando variables de registro	Segundos	Unixbench

		Algoritmo Whestone con doble precisión		
		Exec1 Throughput		
		File Copy con diferentes tamaños de archivo		
		Throughput de la cola		
		Cambios de contexto de la cola		
		Creación de procesos		
		Ejecución de scritps		
		Sobre encabezado de llamadas al sistema		
		Lecturas y escrituras secuenciales, aleatorias y relecturas sobre archivos de distintos tamaños y con distintos tamaños de bloque.	Segundos y milisegundos	Sysbench
RAM	Tiempo de respuesta instantáneo.	Inserciones en BD	Segundos	PTS
		Accesos a archivos en servidor		FIO
		Ejecución de trabajos en red		
		Pruebas de servicio de directorio		
E/S de disco	Tiempo de respuesta instantáneo	Tiempo de respuesta instantáneo para escrituras/lecturas secuenciales y aleatorias con distintos tamaños de archivo y bloque	Milisegundos	IOzone3
	Tiempos de respuesta promedio y del N% percentil	Demoras mínimas, máximas, promedio y N% percentil por petición		Sysbench
Red	Tiempo de respuesta instantáneo y promedio	Tiempo de respuesta instantáneo y promedio	Milisegundos	Ping

Descripción de las pruebas para CPU, RAM y SA:

1. Deben identificarse las aplicaciones/servicios que se soportarán en la NP, así como el dimensionamiento de las IV sobre las cuales se desplegarán. En base a esta información se propone que sean elegidas las micro-benchmarks a aplicar en cada subsistema, y las características de las IV sobre las cuales se ejecutarán las pruebas. De lo contrario emplear los tipos de IV que propone el CMP, o emplear los tamaños estándares de facto mostrados en la Tabla 7.

2. Instalación y configuración:
  1. Iniciar las IV con el dimensionamiento definido.
  2. Actualizar paquetes a su versión más reciente.
  3. Instalar las herramientas de micro-benchmarks definidas dentro de las IV creadas.
3. Ejecución de las pruebas:
  1. Ejecutar las micro-benchmarks definidas.
  2. Registrar las métricas especificadas en la Tabla 11.
4. Limpieza del escenario: Detener las IV y eliminarlas.

Descripción de las pruebas para la red:

1. Desplegar los mismos tipos de IV empleados en la prueba para los subsistemas de CPU, RAM y almacenamiento.
2. Instalación y configuración: Instalar **ping** en cada IV.
3. Ejecución de las pruebas: Ejecutar **ping** entre las IV a emplear para adquirir las métricas. El nivel de profundidad depende de los requerimientos del cliente.
4. Limpieza del escenario: Detener las IV y eliminarlas.

Cálculo y agregación de las métricas de la Etapa 3:

1. Calcular el tiempo de respuesta de los subsistemas de la infraestructura,  $TR_{sub}$ , como se explica en el epígrafe de las métricas del tiempo de respuesta.

Cálculo y agregación de las métricas de las tres etapas:

1. Calcular el tiempo de respuesta de la infraestructura de la NP,  $TR_{iaas}$ , como se explica en el epígrafe de las métricas del tiempo de respuesta.

## Producción

Se consideran debe ser la misma que para entornos de desarrollo, con la especificación de que su desarrollo ha de realizarse en los momentos de menos carga de la infraestructura.

## Atributo de demoras

Brinda una medida de los tiempos de respuesta que sobrepasan umbrales preestablecidos. La evaluación de las métricas de demoras no se realiza a partir de una prueba, sino realizando el análisis estadístico de los resultados de la prueba de tiempo de respuesta. La Fórmula 34 muestra la métrica primaria, “Factor de Demora (FD)”.

$$FD = 1 - \frac{\text{tiempos de respuesta incorrectos}}{\text{total de tiempos de respuestas evaluados}} \quad (34)$$

A su vez, en la Tabla 12 se proponen métricas secundarias.

Tabla 12. Métricas secundarias de demoras

Métricas	Descripción
%_tiempos_correctos	% de tiempos de respuesta que no se consideran demoras.
%_tiempos_incorrectos	% de tiempos de respuesta que se consideran demoras.
umbrales	Valor de tiempo que marca la diferencia entre un tiempo de respuesta aceptable y una demora.
demora_promedio_k	Valor promedio de las demoras detectadas en el componente k.

## Procedimiento de evaluación

La evaluación de las métricas de demoras no se realiza a partir de una prueba, sino realizando el análisis de los resultados de la prueba de tiempo de respuesta, habiéndose fijado los umbrales correspondientes.

## Atributo de Eficiencia

Indica el trabajo útil desempeñado por la NP en general y por los diferentes subsistemas que la conforman, con respecto al consumo energético total, para servir a las aplicaciones/servicios a soportar.

## Métricas

La métrica primaria propuesta es el “Desempeño del CD por Energía (DPPE<sup>54</sup>)”. El DPPE es un indicador para mostrar la productividad por unidad de energía consumida en un CD, expresada simplemente por el rendimiento del CD con respecto al consumo de energía. Define cuatro subindicadores para CD mostrados en la Figura 2.

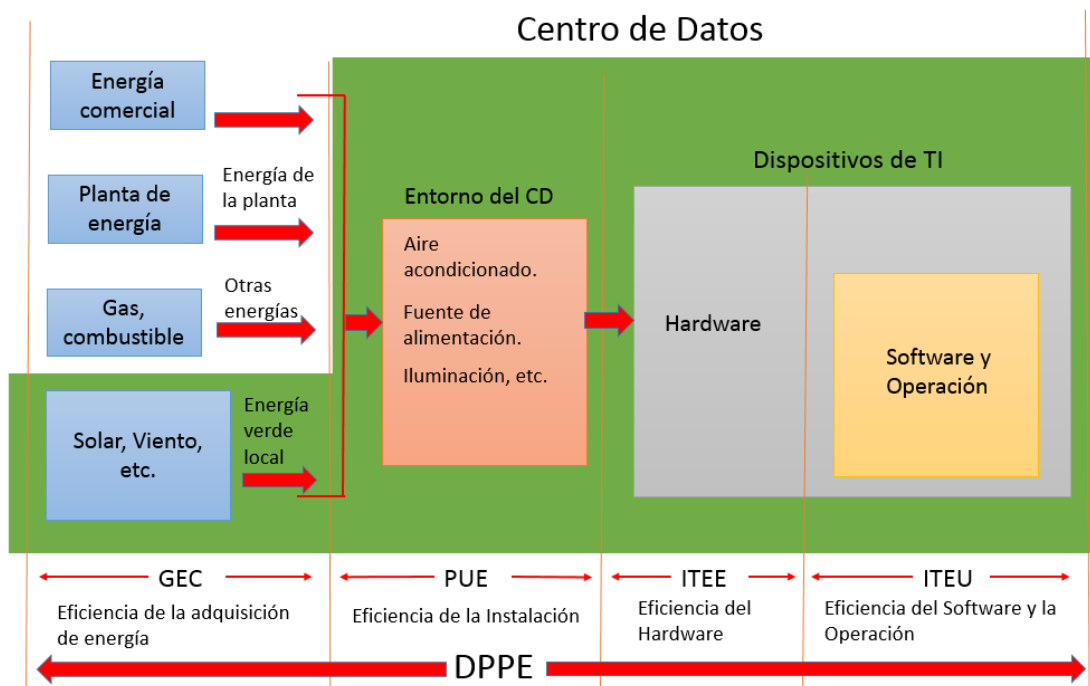


Figura 2. Descripción general del DPPE y sus subindicadores [11].

<sup>54</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Data Center Performance per Energy.

DPPE está diseñado para aumentar a medida que aumentan los valores de sus cuatro métricas secundarias, siendo el valor inverso para el caso de la Efectividad de Uso de Energía (PUE<sup>55</sup>). DPPE se puede definir como rendimiento por unidad de energía no verde en el CD y se calcula como indica la Fórmula 35 [12]:

$$DPPE = ITEU * ITEE * \frac{1}{PUE} * \frac{1}{1-GEC} \quad (35)$$

Los cuatro indicadores, Utilización de Equipos de TI (ITEU<sup>56</sup>), Eficiencia Energética de Equipos de TI (ITEE<sup>57</sup>), PUE y Coeficiente de Energía Verde (GEC<sup>58</sup>), reflejan cuatro tipos independientes de esfuerzos de ahorro de energía. Un tipo de esfuerzo de ahorro de energía está diseñado para estar libre de cualquier efecto de otro. Por esta razón, estos indicadores además se pueden usar por separado e independientemente como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Métricas secundarias del DPPE [12]

Métricas secundarias	Fórmula	Actividad correspondiente al ahorro de energía
Utilización de Equipos de TI (ITEU)	$= \frac{\text{consumo total de energía (energía eléctrica real medida) en dispositivos de TI}}{\text{consumo de energía nominal (valor teórico) total dispositivos de TI (energía eléctrica nominal)}}$	Funcionamiento eficiente de los dispositivos de TI: mejora de las tasas de operación y reducción del número de dispositivos operativos a través de la consolidación, virtualización y otras medidas.
Eficiencia Energética de Equipos de TI (ITEE)	$= \frac{\text{capacidad nominal total de los dispositivos de TI (trabajo útil)}}{\text{potencia nominal total (potencia nominal) de los dispositivos de TI}}$	Emplear dispositivos de TI más avanzados que ahorran energía.

<sup>55</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Power usage effectiveness.

<sup>56</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: IT Equipment Utilization.

<sup>57</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: IT Equipment Energy Efficiency.

<sup>58</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Green Energy Coefficient.

Efectividad de Uso de Energía (PUE)	$= \frac{\text{consumo total de energía en el CD (medición real)}}{\text{consumo total de energía en dispositivos informáticos (medición real)}}$	Reducción del consumo de energía en las instalaciones a través de diversas medidas, incluida la sofisticación de los sistemas de aire acondicionado y los sistemas de conmutación de fuentes de energía y la utilización del entorno natural.
Coeficiente de Energía Verde (GEC)	$= \frac{\text{energía generada a partir de fuentes de energía verdes (fuentes de energía naturales como fotovoltaica y eólica) (medición real)}}{\text{consumo total de energía en el CD (medición real)}}$	Instalar equipos de generación de energía verde, incluidos sistemas fotovoltaicos, eólicos y de suministro de agua.

La métrica DPPE debe ser normalizada empleando la Fórmula 36, “Factor de Eficiencia Energética (FEE)”. Si  $|FEE| > 1$  se le debe otorgar un valor de 0.

$$FEE = 1 - \frac{1}{DPPE} \quad (36)$$

#### *Pruebas de eficiencia energética*

##### Medición del PUE [12]

1)- Nombre de la prueba: Medición del PUE.

2)- Tipo de prueba: Prueba de evaluación de eficiencia.

3)- Propósito de la prueba: Caracterizar la infraestructura y obtener así la proporción en el consumo de energía de un CD de los dispositivos de TI y a la vez evaluar cuán eficientemente se está climatizando el CD.

4)- Objetivo de la prueba: Cuantificar el valor de la métrica PUE en un CD determinado.

La misma puede ser interpretada de manera aislada o finalmente contribuir al cálculo del DPPE.

5)- Parámetros a ser medidos: El PUE es el valor del consumo total de energía en un CD dividido por el consumo de energía de los dispositivos de TI, consumo de electricidad.

[12].

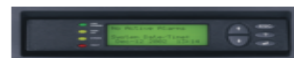
6)- Medios a emplear para las pruebas: Dado que se medirá el consumo de energía eléctrica de diversos equipos es necesario seleccionar entre instrumentos portátiles o de instalación permanente. La instrumentación permanente brinda datos continuos y en tiempo real sobre la eficiencia y tiene importantes ventajas. Una ventaja importante de la instrumentación permanente, en comparación con las auditorías periódicas, es que no se necesita la presencia de personas para tomar mediciones con instrumentos portátiles en circuitos de alimentación activos: siempre que alguien intenta tomar mediciones en circuitos activos existe el riesgo de que se produzcan errores y un consiguiente tiempo de inactividad. La desventaja de la instrumentación de instalación permanente es que implica un costo inicial muy alto, en especial cuando se actualiza en instalaciones ya existentes. En la mayoría de los casos, la instrumentación permanente puede instalarse sin interrumpir la carga informática crítica. Las auditorías periódicas con instrumentos portátiles tienen un costo inicial menor y son adecuadas particularmente para los CD existentes que están por alcanzar el fin de su vida útil. En la Figura 3 se muestran ejemplos de equipos de medición portátiles y permanentes [13]. El rango de error de medición de los instrumentos de medición existentes debe definirse expresamente. Esta información es tomada de la hoja de datos del fabricante del equipo.



Equipo portátil de medición de potencia (Fluke 435)



Equipo de medición de potencia de instalación permanente (Power Logic PM700)



Funciones integradas de medición de potencia, de instalación permanente en los equipos de alimentación y enfriamiento (unidad UPS Symmetra de APC)

Figura 3. Ejemplos de equipos de medición de potencia portátiles y permanentes [13]



7)- Descripción de la prueba: Esta medición se rige por varias etapas [12].

Para llegar a tener una idea más clara de lo que es el PUE se puede observar la Figura 4:

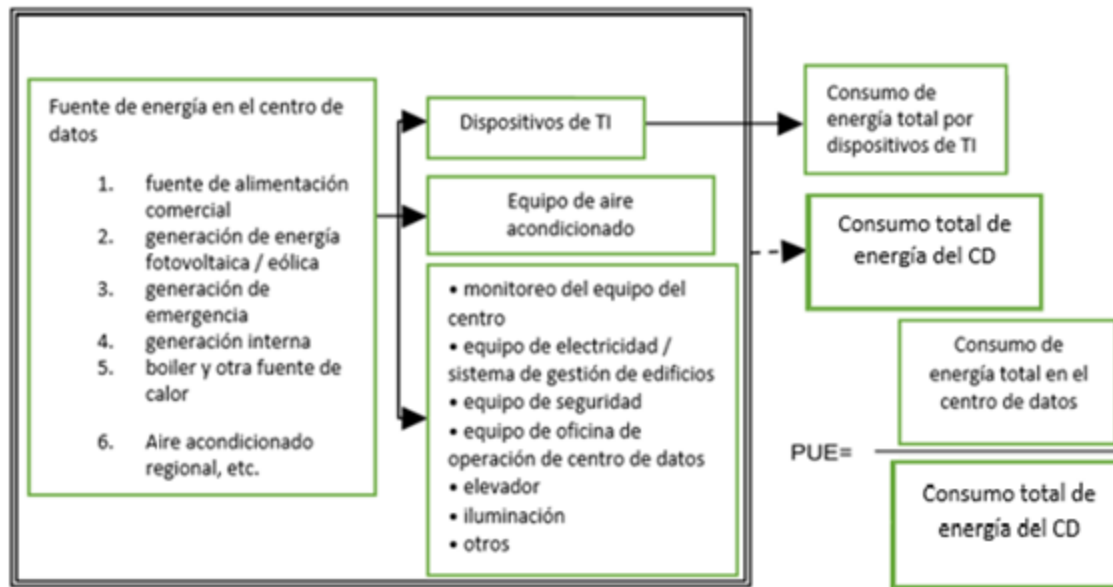


Figura 4. PUE para un centro de datos dedicado [12]

### 1. Período de medición:

El PUE debe medirse y calcularse mensualmente, desde las 00:00 del primer día hasta las 24:00 del último día del mes. Para publicación o comparación, el PUE debe proporcionarse, por regla general, en un valor integrado de consumo de energía que cubra todo el año. Se puede definir cualquier período de medición más corto que un año.

### 2. Frecuencia de medición:

Al menos, el período de medición debe ser mensual. Se debe determinar el valor integrado mensualmente. Si no se puede medir la cantidad de energía integrada anualmente, energía eléctrica, debe determinarse de la siguiente manera:

- Si no se instala un instrumento integrado en el punto de salida de la Unidad de Distribución de Energía (PDU<sup>59</sup>) o en el punto de salida de la Uninterruptible Power

<sup>59</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Power Distribution Unit.

Supply (UPS), la medición debe realizarse en el instrumento integrado más cercano a la entrada del UPS. Del valor así obtenido, restar el valor de pérdida de cada equipo, y se debe usar el valor así obtenido. Si no se puede usar el valor medido, conviene convertir el valor instantáneo<sup>60</sup> o la energía integrada de un día en la cantidad de energía integrada anualmente siguiendo el método que se muestra a continuación, y el valor así obtenido:

- En el caso en que la cantidad de energía integrada anualmente se convierta desde el valor instantáneo, mida el valor instantáneo una vez al día y convierta el valor en un valor de 24 horas. El valor así obtenido debería ser el valor integrado del día. El valor acumulado para un año debe ser la cantidad de energía integrada anualmente.
- En el caso en que la cantidad de energía integrada anualmente se convierta de la energía integrada de un día, mida la cantidad de energía integrada por un día una vez al mes, y convierta el valor en el valor de un mes, multiplique el valor por el número de días del mes. El valor así obtenido debería ser el valor integrado del mes. El valor acumulado para un año debe ser la cantidad de energía integrada anualmente.

Cualquier método de arriba por el cual se realizó la medición debe aclararse junto con los valores medidos.

### *3. Selección de dispositivos de TI para determinar el consumo de energía de los equipos de TI:*

---

<sup>60</sup> Valor instantáneo: valor de energía consumida en el transcurso de una hora.

Las siguientes cargas se definen como el consumo de energía por los dispositivos de TI, energía eléctrica:

- todos los equipos de TI, incluidos servidores, dispositivos de almacenamiento y dispositivos de red.
- dispositivos complementarios como conmutadores, monitores y estaciones de trabajo / Computadoras Personales (PC<sup>61</sup>) portátiles.

4. *Selección de los dispositivos a medir para determinar el consumo de energía de toda la instalación:*

Además del consumo de energía de los dispositivos de TI, energía eléctrica, enumerados en el párrafo anterior, el consumo de energía de toda la instalación cubre varios dispositivos que admiten equipos y dispositivos de TI. Elementos que soportan equipos y dispositivos de TI:

- Componentes de suministro de electricidad tales como UPS, interruptores, generadores de energía, PDU, baterías y pérdidas de transmisión.
- Sistemas y componentes de refrigeración tales como Congeladores, Acondicionadores de Aire de Sala de Ordenadores (CRAC<sup>62</sup>), unidades de refrigeración de expansión directa, bombas y torres de refrigeración.
- Otros componentes, como la iluminación del CD.

Las PC, copiadoras, impresoras, máquinas de fax y otros dispositivos instalados en el área de la oficina para uso en la oficina deben ser incluidos en el cálculo del consumo de energía por toda la instalación. Las mediciones obtenidas para dispositivos eléctricos y otros dispositivos consumidores de energía deben totalizarse para constituir el consumo

---

<sup>61</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Personal Computer.

<sup>62</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Computer Room Air Conditioning.

de energía de toda la instalación. El consumo de energía debe representarse en energía eléctrica (kWh) después de someterse a la conversión de energía de la fuente, que se describe más adelante.

*5. Medición del consumo real total de energía del CD ( $E_{T\_CD}$ ):*

Para determinar el consumo total de energía en un CD, es necesario realizar mediciones en el límite entre el CD y las instalaciones externas, es decir, una transferencia de servicios, donde la responsabilidad de los servicios se transfiere de una entidad a otra, e incluir todas las fuentes de energía. Los CD usan energía obtenida de varias fuentes: (1) electricidad de proveedores de energía eléctrica, (2) electricidad de generación fotovoltaica y eólica, (3) electricidad de generadores de energía de emergencia, (4) electricidad de otras unidades de generación de energía internas, como los sistemas de cogeneración, (5) el calor para el aire acondicionado de calderas basadas en gas o basadas en aceite y los sistemas de cogeneración internos, y (6) el calor y otras fuentes de energía como la electricidad de los sistemas regionales de aire acondicionado. En la Figura 5 se observa la estructura de un CD con las diferentes fuentes de energía y sus respectivos puntos de medición.

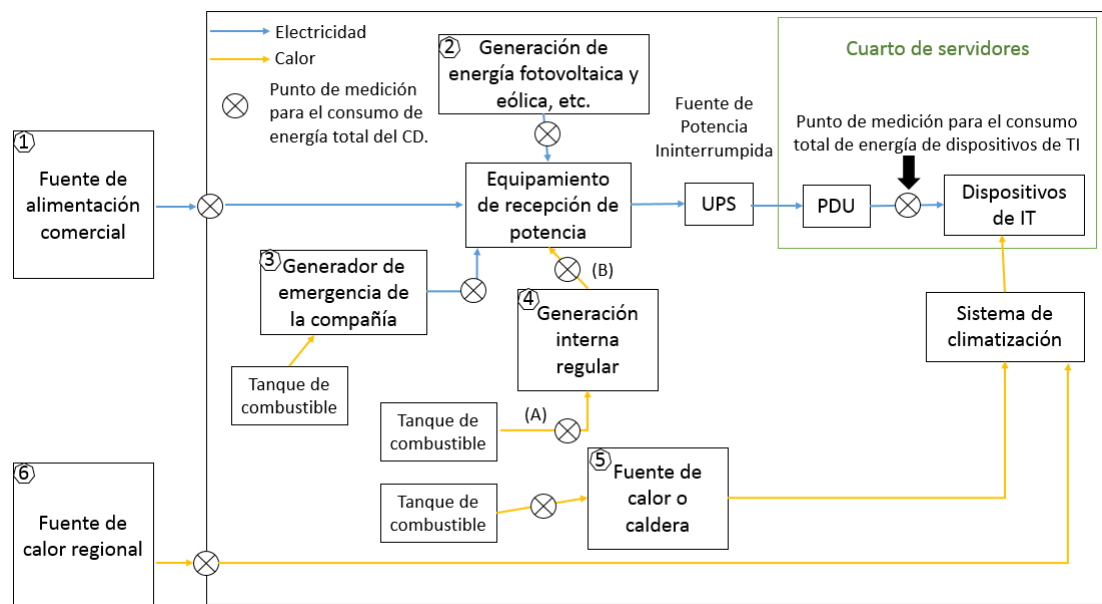


Figura 5. Tipos de fuentes de energía en los centros de datos y los puntos de medición [12]

### ***Cantidad de energía de la fuente***

En estas pautas, la energía total generalmente se expresa en energía eléctrica después de que la energía de todas las fuentes se agrega. Para producir 1 kWh de electricidad comercial (A), se usa aproximadamente tres veces la energía, factor de conversión de fuente  $\delta$ , después de considerar la eficiencia de generación de energía de las plantas de energía y la pérdida de transmisión causada entre la planta de energía y el CD. Esta energía tres veces se llama "cantidad de energía fuente".

Las cantidades de energía en un CD se evalúan básicamente en la cantidad de energía de la fuente, tal como se acordó en la conferencia internacional de febrero de 2011, Coordinación global de indicadores relacionados con la eficiencia energética en los CD [11].

Para los combustibles, la energía consumida en el CD se cuenta como fuente de energía después de que las cantidades de petróleo pesado u otros combustibles se convierten

en energía eléctrica en kWh (B). Para las fuentes de energía secundarias (C), incluido el agua fría para calefacción y refrigeración regional, la energía, factor de conversión de fuente, consumida para producir agua enfriada se convierte en energía eléctrica en kWh.

La cantidad de energía de la fuente total puede expresarse mediante la Formula 37:

$$\text{Consumo de energía total} = \delta \times (A) + (B) + \varepsilon \times (C) \quad (37)$$

Para hacer que la Formula 37 sea compatible con el PUE, se creó la Fórmula 38 en función del valor de la energía eléctrica comercial convencional, valor que se muestra en el vatímetro, para permitir la conversión de la fuente.

$$\text{Consumo total de energía} = (A) + (1 / \delta) \times (B) + (\varepsilon / \delta) \times (C) \quad (38)$$

La conferencia internacional de febrero de 2011 [11], acordó utilizar los siguientes valores a nivel mundial como factores de conversión de energía fuente:

\* Factor de conversión de energía de origen para energía eléctrica comercial y energías renovables (A):

$$\Rightarrow 1.0$$

\* Factor de conversión de energía de origen para combustibles (B):

$$\Rightarrow 1 / \delta \Rightarrow 0.35$$

\* Factor de conversión de energía fuente para fuentes de energía secundarias (C):

$$\Rightarrow \varepsilon / \delta \Rightarrow 0.40$$

En la Tabla 14 se encuentra un resumen con el tipo de fuente de energía y sus correspondientes factores de conversión:

Tabla 14. Factor de conversión de energía fuente por fuente de energía

$\Rightarrow$ Fuente de energía	Factor de conversión de origen de energía
Energía eléctrica comercial y energías renovables (eólica, solar, etc.)	1.0
Gas (gas natural, gas ciudad, etc.)	0.35
Aceite pesado Clase A	0.35

Otro combustible	0.35
Agua fría, etc. (calefacción y refrigeración regional)	0.40

Por tanto, la fórmula del consumo total de energía quedaría como muestra la Fórmula 39:

$$\text{Consumo total de energía } (E_{T_{CD}}) = (A) + 0.35 \times (B) + 0.4 \times (C) \quad (39)$$

Por otra parte, para la medición y conversión de otras fuentes de energía aparte de la electricidad comercial se puede revisar el Anexo A donde se muestran coeficientes para la conversión de energía en caso de que no se cuenten con los datos de generación de energía de los equipos en particular. Generalmente los coeficientes para realizar la conversión de energía dependen de la eficiencia de los equipos generadores de energía. Para los equipos que usan otras fuentes de energía aparte de la electricidad, la energía debe medirse para cada equipo y convertirse en energía eléctrica, que luego debe multiplicarse por el factor de conversión de energía de origen e integrarse con la energía eléctrica consumida por el equipo impulsado por electricidad. A continuación, se muestra cómo medir diferentes tipos de equipos.

#### *Ejemplos:*

##### 1) Gas (GLP)

- Instrumento de medición: medidor de flujo, medidor integrador
- Punto de medición: entrada del congelador
- Conversión de cantidad de calor: el consumo de calor mensual se determina sobre la base del consumo total de los meses precedentes utilizando mediciones con un medidor de flujo, medidor integrador, y luego se convierte en energía eléctrica [kWh] y se multiplica por el factor de conversión de energía fuente, como muestra la Fórmula 40.

$$B [t] \times 13944 [kWh / t] \times 0.35 [kWh] \quad (40)$$

2) Aceite pesado (aceite pesado tipo A):

- Instrumento de medición: integrador de medidor o volúmenes de petróleo pesado comprados
- Punto de medición: línea de recepción del tanque de aceite
- Conversión de la cantidad de calor: el consumo de calor mensual se determina sobre la base del consumo total en los meses precedentes utilizando medidas con medidor de flujo, medidor integrador, y luego se convierte en energía eléctrica [kWh] y se multiplica por el factor de conversión de energía fuente, como muestra la Fórmula 41.

$$B \text{ [kL]} \times 10861 \text{ [kWh / kL]} \times 0.35 \text{ [kWh]} \quad (41)$$

3) Proveedor de calor, tipo urbano:

- Instrumento de medición: medidor de cantidad de calor, agua fría y agua tibia, medidor de flujo de vapor o medidor de flujo de agua de retorno (vapor).
- Punto de medición: instalación receptora del consumidor.
- Conversión de cantidad de calor: para agua fría y agua tibia, la cantidad de calor se calcula a partir de las lecturas en el medidor de cantidad de calor. Para el vapor, la entalpía del agua de retorno se resta de la entalpía de vapor correspondiente a la presión y la temperatura. La cantidad de calor se determina multiplicando el valor obtenido por la calidad del vapor. Si el vapor y el agua de retorno son de la misma cantidad, es decir, no hay vapor directo, se puede usar la cantidad de agua de retorno.

El valor obtenido debe convertirse en energía eléctrica [kWh] y el factor de conversión de energía fuente, como muestra la Fórmula 42.

$$C \text{ [GJ]} \times 278 \text{ [kWh / GJ]} \times 0.4 \text{ [kWh]} \quad (42)$$

6. Consumo total de energía por dispositivos informáticos ( $E_{T\_TI}$ ):



Para medir el consumo de electricidad [kWh] de los equipos de TI se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Como regla general, el consumo de electricidad se debe medir en el punto de salida de la PDU usando un medidor de energía en la PDU conectada a los dispositivos de TI. Si la PDU contiene un transformador reductor, se debe contar la pérdida en el transformador reductor.
- Si la medición no es factible en los puntos de entrada y salida de la PDU, la medición puede realizarse en el punto de salida del UPS. Debe contabilizarse las pérdidas como por ejemplo: del transformador reductor y del cable ubicado en la salida de la PDU. El valor así obtenido se debe usar como el valor de salida de la PDU.
- Si la medición no es factible en el punto de salida del UPS, se debe indicar y contar las pérdidas como el valor de pérdida del UPS, el transformador reductor y el cable ubicado desde el punto mensurable mediante un vatímetro integrador a la salida de la PDU.
- Si se mide en el lado de recepción de energía desde el UPS, se deben medir las pérdidas por ejemplo en el UPS y el transformador de alta tensión ubicado en el lado de salida del UPS. Esto puede variar debido a la carga en los dispositivos de TI. En este caso, las tasas de pérdida apropiadas para la carga deberían obtenerse de los fabricantes y usarse para el cálculo.

El procedimiento antes descrito se muestra en la Figura 6.

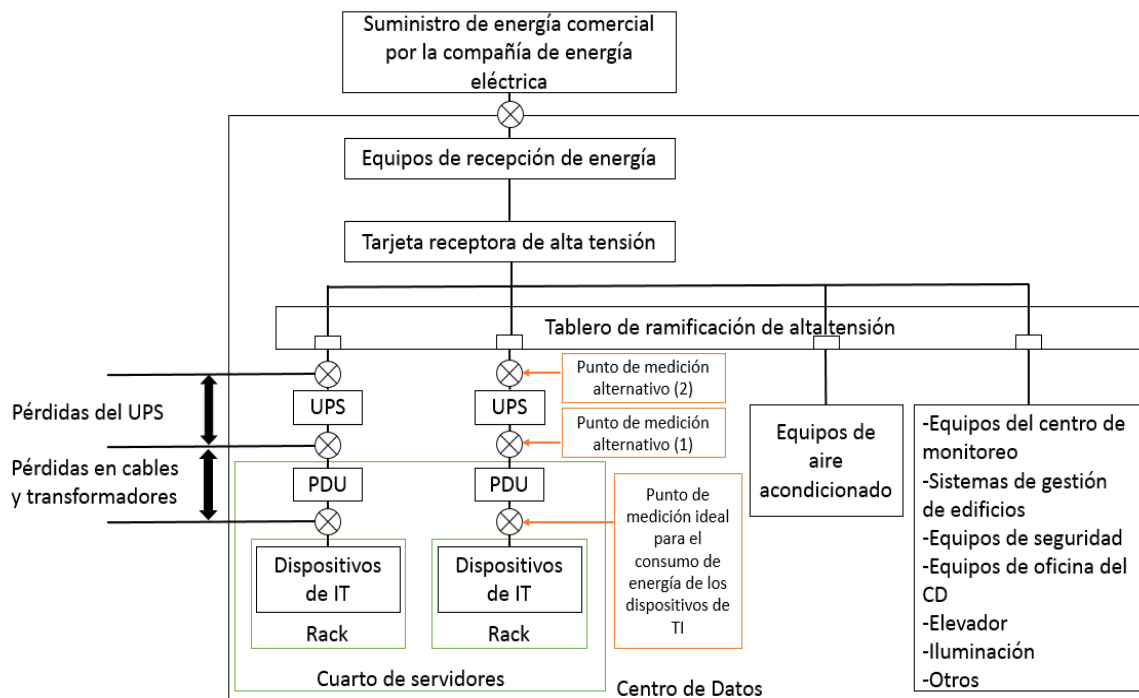


Figura 6. Puntos de medición para el consumo de energía de los dispositivos de TI [12]

Caso ideal, Fórmula 43:

$$E_{T\_TI} = \text{Medición en el punto ideal} \quad E_{T\_TI} \rightarrow \text{consumo total de equipos de TI} \quad (43)$$

Caso 2, Fórmula 44:

$$E_{T\_TI} = \text{Medición en el punto ideal} - \text{Pérdidas en cables y transformadores} \quad (44)$$

Caso 3, Fórmula 45:

$$E_{T\_TI} = \text{Medición en el punto ideal} - \text{Pérdidas en cables y transformadores} - \text{Pérdidas en UPS} \quad (45)$$

### ***Teniendo en cuenta el factor de potencia***

El consumo real de electricidad total (kW) de los dispositivos de TI se calcula mediante la tensión (V)  $\times$  corriente (A)  $\times$  factor de potencia (%) del sistema de UPS. Esto es diferente de KVA = tensión (V)  $\times$  corriente (A). Por lo tanto, es deseable tener en cuenta el factor de potencia para determinar PUE si se toma el consumo de los equipos de TI a partir de esta forma. En el cálculo del PUE es necesario que ambas partes tanto el

consumo del CD como el consumo de los equipos de TI estén en la unidad de medida Watt (o kW) para evitar esta desviación y para ello se debe tener en cuenta el factor de potencia del sistema UPS. Si el PUE se calcula sin tener en cuenta el factor de potencia, el consumo total de energía (energía eléctrica [kVAh]) de los dispositivos de TI puede ser mayor de lo que debería ser y puede afectar sustancialmente los resultados del cálculo PUE.

El valor del factor de potencia varía, dependiendo de cómo el sistema del dispositivo informático esté configurado después de la PDU. Sin embargo, los datos de medición basados en muestras han sugerido que se producen pocos cambios con el tiempo. Por esta razón, el consumo total de energía por parte de los dispositivos de TI puede determinarse multiplicando el valor de energía eléctrica obtenido a partir de mediciones continuas con corriente y tensión por el valor promedio del factor de potencia medido temporalmente con un terminal útil o herramienta similar. Si el factor de potencia no se conoce o es inconmensurable, se recomienda utilizar el 95% como factor de potencia.

En la Tabla 15 se muestra el rango de valores del factor de potencia más usados.

Tabla 15. Ejemplo de factor de potencia obtenido a partir de datos de medición basados en muestras [12]

<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Máximo</b>
64 % (0.64)	95.8 % (0.958)	100 % (1)

En el siguiente ejemplo se puede observar como la medida del factor de potencia afecta el cálculo del PUE.

*Ejemplo:*

Energía eléctrica de 200kVA (198 kWh) en los CD; potencia aparente de 100kVA de dispositivos TI.

Factor de potencia del 100%, sin tener en cuenta el factor de potencia FP = 1:

$$PUE = \frac{198 [kWh]}{100 [kVA] \times 1} = 1.98$$

Factor de potencia del 96%, FP = 0.96:

$$PUE = \frac{198 [kWh]}{100 [kVA] * 0.96} = 2.0625$$

Factor de potencia del 90%, FP = 0.9:

$$PUE = \frac{198 [kWh]}{100 [kVA] * 0.90} = 2.2$$

### ***Explicación del proceso de medición:***

- Se recomienda la medición con un medidor integrador.
- Si no se instala un medidor integrador en la PDU o la salida del UPS, la medición se debe realizar con el medidor integrador anterior más cercano. La pérdida en cada dispositivo debe restarse de las mediciones obtenidas.
- Si no es posible la utilización de un medidor integrador se deben usar los valores instantáneos que deben medirse diariamente o al menos una vez al mes y se deben convertir en el consumo anual total de electricidad.
- La medición debe realizarse al menos una vez al día para obtener valores instantáneos, visualmente o mediante la lectura de un medidor, que deben sumarse y convertirse en un consumo de electricidad de 24 horas. Los valores de 24 horas deben sumarse para obtener el consumo anual de electricidad.
- Si no es posible medir una vez al día la medición debe hacerse una vez al mes para obtener la energía eléctrica total diaria. El valor debe convertirse en consumo de electricidad mensual. El consumo mensual de electricidad debe sumarse para obtener el consumo anual de electricidad estableciendo un control sistemático y

monitoreando los acumulados mensuales que contribuyen series históricas que posibilitan el análisis en un período de tiempo determinado.

Para visualizar mejor este procedimiento se puede observar la Figura 7 donde se explica.

Conversión de valores instantáneas en energía eléctrica anual total

(1) Mediciones diarias

$$\begin{array}{l}
 \boxed{\text{Valor instantáneo del día}} \times \boxed{24 \text{ horas}} = \boxed{\text{Consumo diario de energía por dispositivos de TI}} \\
 \boxed{\text{Consumo diario de energía por dispositivos de TI}} + \boxed{\text{Consumo diario de energía por dispositivos de TI}} \dots (\text{Anual}) = \boxed{\text{Consumo anual de energía de dispositivos de TI}}
 \end{array}$$

(2) Mediciones mensuales

$$\begin{array}{l}
 \boxed{\text{Total de energía eléctrica de un día medida una vez al mes}} \times \boxed{\text{Días del mes}} = \boxed{\text{Consumo mensual de energía de dispositivos de TI}} \\
 \textcircled{1} \boxed{\text{Consumo mensual de energía por dispositivos de TI}} + \textcircled{2} \boxed{\text{Consumo mensual de energía por dispositivos de TI}} \dots (\text{Anual}) = \boxed{\text{Consumo anual de energía por dispositivos de TI}}
 \end{array}$$

	Error	Gravedad del error
Midiendo continuamente en el punto de entrada del UPS	Error en pérdidas de UPS, PDU y cableado	Menor(es posible medir las pérdidas actuales)
Midiendo una vez al día	Error en pérdidas de UPS, PDU, cableado y fluctuaciones diarias en la carga de TI	Menor a medio
Midiendo una vez al mes	Error en pérdidas de UPS, PDU, cableado y fluctuaciones mensuales en la carga de TI	Medio a mayor

Figura 7. Conversión de valores instantáneos en el consumo total de electricidad [12]

En caso de contar con las hojas de datos del cableado se debe estudiar para obtener el valor de las pérdidas de los mismos. En caso de no contar con estos datos se puede revisar el Anexo B donde se aproxima según la Ley de Ahorro de Energía en Japón las pérdidas de cableado y transformadores, las cuales pueden usarse para un cálculo sencillo y fácil.

## 7. Cálculo del PUE:

### Ejemplo de cálculo

El PUE debe calcularse utilizando el consumo total de energía del CD E\_T\_CD y el consumo total de energía de los dispositivos de TI E\_T\_TI como indica la Fórmula 46:

$$PUE = \frac{\text{consumo total de energía del CD [kWh]}}{\text{consumo total de energía por dispositivos informáticos (TI) [kWh]}} \quad (46)$$

$$PUE = \frac{E\_T\_CD \text{ [kWh]}}{E\_T\_TI \text{ [kWh]}}$$

En donde:

E\_T\_CD [kWh]: consumo total de energía del CD

E\_T\_TI [kWh]: consumo total de energía por parte de los dispositivos de TI

*Ejemplo 1, electricidad comercial:*

En la Figura 8 se muestra un ejemplo donde la energía del CD está compuesta solo por la electricidad comercial.

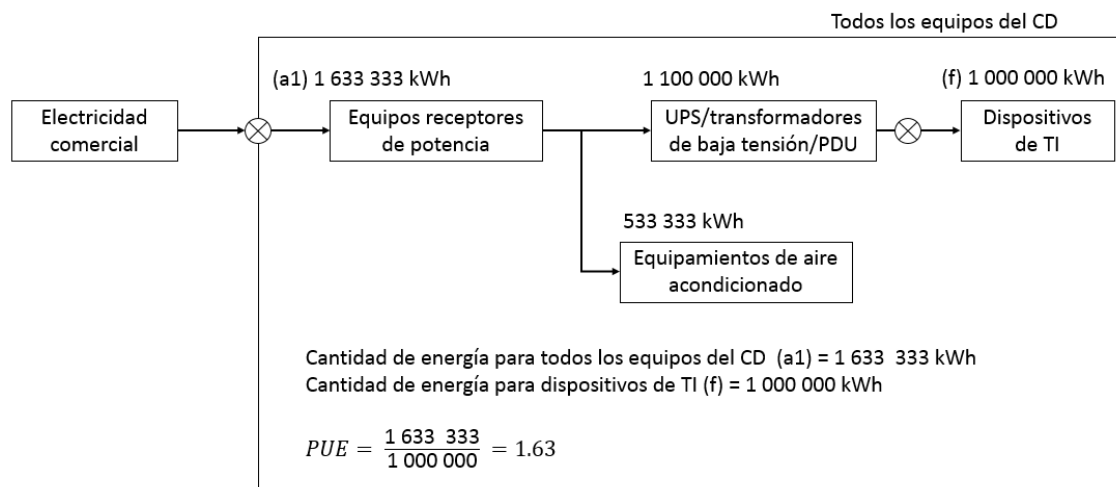


Figura 7. Combinación de la energía del centro de datos, solo electricidad comercial [12]

*Ejemplo 2, electricidad comercial + combustible de la enfriadora:*

En la Figura 9 se muestra un ejemplo donde la energía del CD está compuesta por la electricidad comercial y por el combustible de la enfriadora.

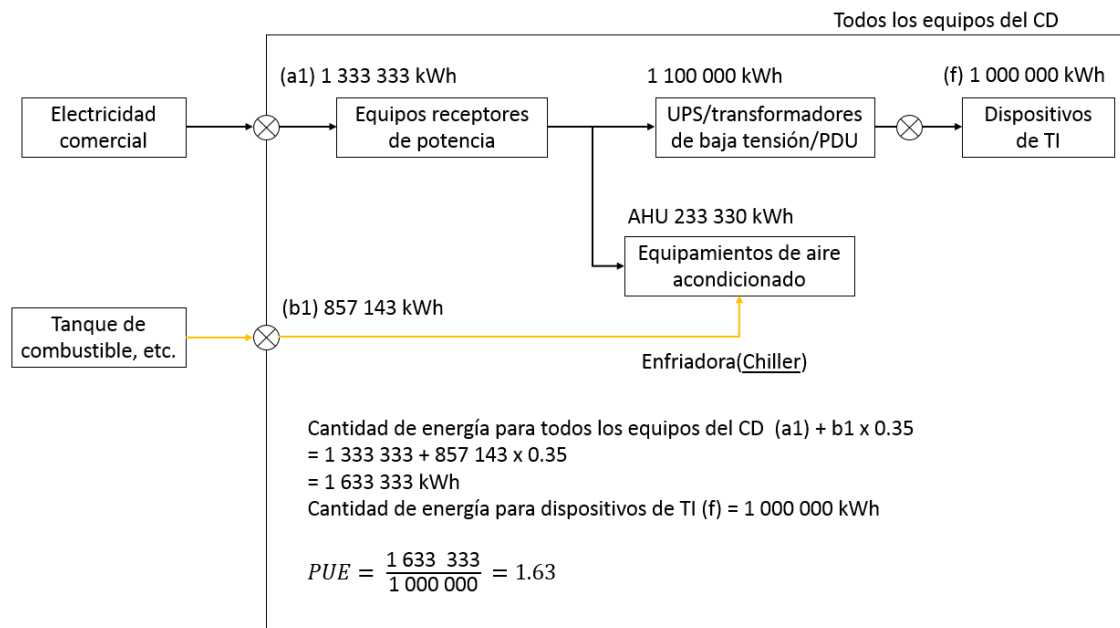


Figura 8. Combinación de la energía del centro de datos: electricidad comercial + combustible de la enfriadora [12]

*Ejemplo 3, electricidad comercial + aire acondicionado regional: enfriador:*

En la Figura 10 se muestra un ejemplo donde la energía del CD está compuesta por la electricidad comercial y por el aire acondicionado regional, enfriador.

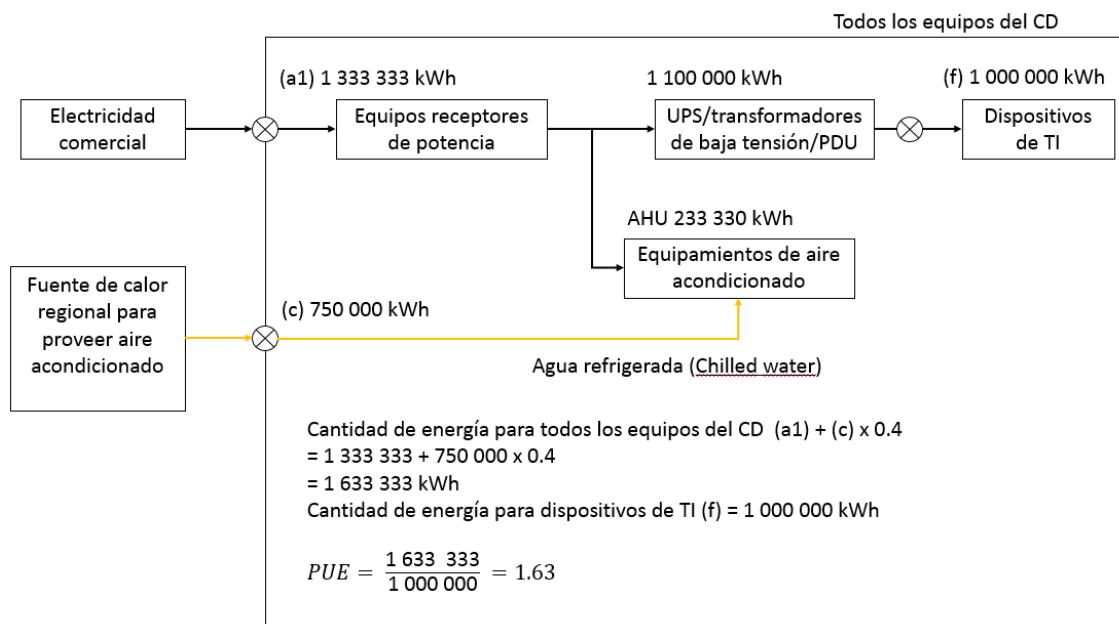


Figura 10. Combinación de la energía del centro de datos: electricidad comercial + aire acondicionado regional: enfriador [12]

*Ejemplo 4: electricidad comercial + generación fotovoltaica + generación de energía interna (es necesario tener en cuenta el coeficiente de conversión de origen de la potencia de TI):*

En la Figura 11 se muestra un ejemplo donde la energía del CD está compuesta por la electricidad comercial, generación fotovoltaica y generación de energía interna.

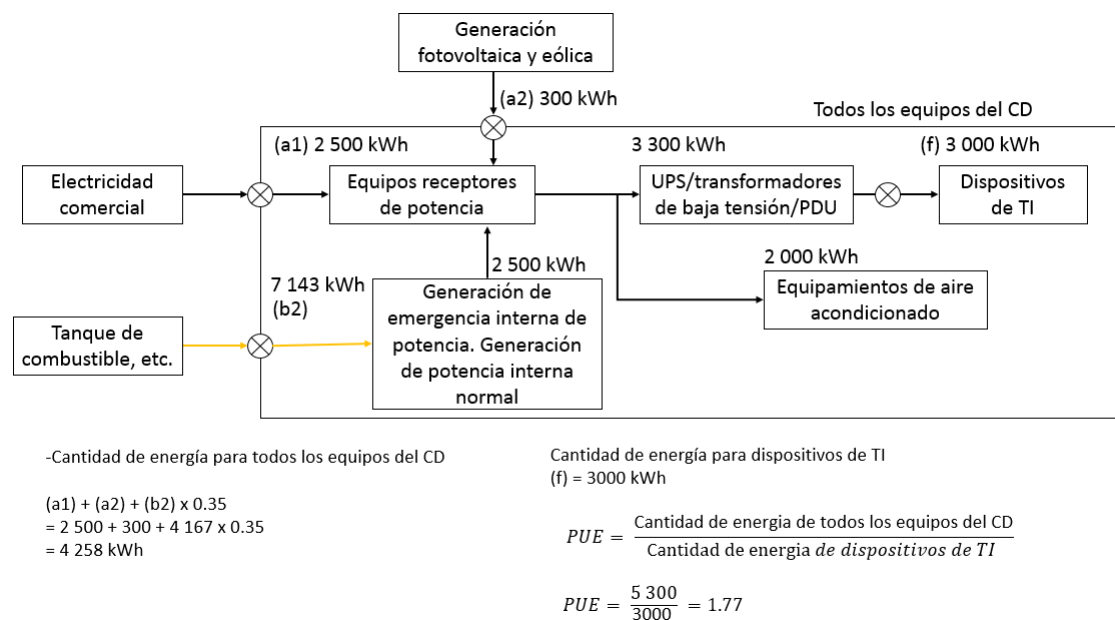


Figura 10. Combinación de la energía del centro de datos: electricidad comercial + generación fotovoltaica + generación de energía interna [12]

### **Tratamiento del error de los datos medidos por los instrumentos**

- Para determinar la tendencia general de uso de energía, se recomiendan instrumentos de medición cuya tasa máxima de error sea +/- 2%.
- Representar que se supone que los datos incluyen error.
- La relación entre el error de los instrumentos de medida y el error afectado del PUE se puede apreciar en el siguiente ejemplo hipotético.



### Ejemplo:

La energía eléctrica total para la instalación debe ser de "100 kWh", la potencia para los dispositivos de TI debe ser de "50 kWh" y el PUE = 2.0 debe ser de valor real. El rango de fluctuación del valor PUE es el siguiente bajo la misma precisión (error) de los instrumentos de medición. En la Tabla 16 se muestran los resultados del ejemplo anterior tratando el error de medición adecuadamente.

Tabla 16. Tratamiento del error de los datos medidos por el instrumento de medida  
(En el caso del centro que solo usa energía eléctrica)

Uso del instrumento	Precisión		Consumo total del CD (kWh)	Consumo de dispositivos de TI (kWh)	PUE	Error	Observación
							Verificación de tolerancia del instrumento combinado
-	0.0%		100	50	2.00	0%	
kWh Instrumento Ultra preciso	0.2%	+0.2% -0.2%	100.2 99.8	49.9 50.1	2.01 1.99	1%	± 0.6%
kWh Instrumento especialmente preciso	0.5%	+0.5% -0.5%	100.5 99.5	49.75 50.25	2.02 1.98	2%	± 1.2%
kWh Instrumento preciso	1.0%	+1.0% -1.0%	101.0 99.0	49.5 50.5	2.04 1.96	4%	± 2.0%
kWh Instrumento normal	2.0%	+2.0% -2.0%	102.0 98.0	49.0 51.0	2.08 1.92	8%	± 2.0%

8) Análisis de los resultados: PUE es un indicador de la eficiencia energética de la instalación. Su valor se acerca a 1 cuando el consumo de energía de los equipos de TI se acerca al consumo de energía de la instalación. Por lo que promueve el uso de

equipos más eficientes y de técnicas que optimicen el funcionamiento de los CD. El resultado obtenido se debe registrar para su comparación con futuras mediciones.

Para el registro de esta prueba se debe usar la Tabla C.1 ubicada en el Anexo C.

#### Medición del ITEU [12]

1)- Nombre de la prueba: Medición del ITEU.

2)- Tipo de prueba: Prueba de evaluación de eficiencia.

3)- Propósito de la prueba: Caracterizar la infraestructura y obtener así hasta qué punto la tecnología de virtualización y de operación ahorran energía, lo que permite un uso eficiente de la capacidad potencial de los dispositivos de TI. El valor provocará la reducción en la cantidad de dispositivos de TI instalados al hacer un uso eficiente total de la cantidad mínima de unidades [12].

4)- Objetivo de la prueba: Cuantificar el valor de la métrica ITEU en un CD determinado. ITEU puede ser interpretada de manera aislada o finalmente contribuir al cálculo del DPPE.

5)- Parámetros a ser medidos: ITEU indica qué tan efectivamente se usa la capacidad de los dispositivos de TI. Para determinar ITEU, se desea calcular la relación entre el rendimiento real y el rendimiento nominal como la tasa de funcionamiento del servidor, examinando todos los dispositivos informáticos individuales, incluidos servidores, unidades de almacenamiento, dispositivos de red y otros equipos. En la práctica, es casi imposible medir las tasas de operación para todos los dispositivos de TI. Como indicador alternativo, se debe usar la relación entre la energía eléctrica medida total y la energía eléctrica nominal total en los dispositivos de TI, ya que, con una tasa de funcionamiento

más alta de un dispositivo, el valor real de energía eléctrica medida se aproxima al valor de energía eléctrica nominal [12].

6)- Medios a emplear para las pruebas: Dado que se mide potencia al igual que el PUE solo se debe decidir si se mide con equipos permanentes o portátiles tomando en cuenta las condiciones en que se va a medir, los pros y contras que traen consigo cada medición y los instrumentos disponibles. También el rango de error de medición de los instrumentos de medición existentes debe definirse expresamente.

7)- Descripción de la prueba: Esta medición se rige por varias etapas [12].

1. Período de medición:

ITEU debe medirse y calcularse mensualmente, 00:00 del primer día hasta las 24:00 de los últimos días del mes. Para publicación o comparación, ITEU debe proporcionarse, por regla general, en un valor total que cubra todo el año. Cualquier periodo de medición menor que un año debe ser previamente definido. Los períodos de medición deben ser los mismos que para PUE.

2. Frecuencia de medición:

El consumo total de energía, consumo total de electricidad [kWh], por parte de los dispositivos de TI debe medirse en un valor continuamente totalizado, consumo total de electricidad en el periodo definido. Si los valores totales no se pueden medir a lo largo del período de medición debido a la falta de disponibilidad de un medidor integrador, por ejemplo, un vatímetro integrador, o por cualquier otra razón, los valores totales se deben determinar mediante uno de los siguientes métodos:

- (a) Se debe seleccionar un día dentro del mes de medición, medir y registrar continuamente los valores de energía eléctrica consumida, utilizando un medidor

de potencia portátil, durante todo el día para determinar el valor total del día y multiplicar el valor por el número de días del mes para determinar el valor total del mes. Esta opción trae consigo errores en el cálculo ya que se asume que todos los días en el mes son iguales y evidentemente esto no es cierto.

- (b) Seleccionar un día dentro del mes de medición, medir y registrar el consumo de energía eléctrica durante una hora al menos, usando un medidor de potencia portátil, una vez por día, convertir en un valor de 24 horas y luego multiplicar el valor por el número de días del mes para determinar el valor total del mes. Esta opción como es evidente trae consigo un mayor error comparado con los métodos antes expuestos ya que se asume que el CD estará siendo usado el día entero con la misma intensidad que la hora en que se realizó la medición.

El método tomado, (a) o (b) arriba, debe aclararse junto con los valores medidos. Al igual que con el medidor integrador, el factor de potencia debe tenerse en cuenta en la medición utilizando cualquiera de los métodos.

Para determinar el consumo de energía nominal total de los dispositivos de TI [kWh], sumar el valor de energía eléctrica nominal obtenido de la administración de configuración de cada dispositivo de TI, multiplicar por 24 para obtener el valor de 24 horas y multiplicar este valor por el número de días del mes para obtener el valor mensual.

### *3. Selección de dispositivos de TI para el rango de medición:*

La zona de medición debe determinarse en función de la potencia nominal obtenida en la gestión de la configuración del dispositivo de TI por piso, por PDU, por rack o por otra unidad y en la medida en que sea factible la medición real del consumo de electricidad.

#### *4. Medición del consumo real total de energía de equipos de TI:*

Al usar un vatímetro en el punto de entrada del UPS, el consumo de electricidad por parte de los dispositivos de TI debe medirse durante el período de medición. Al medir la energía eléctrica, el factor de potencia debe medirse simultáneamente para determinar la energía eléctrica mediante una potencia eléctrica aparente. Si en la medición de solo corrientes y tensiones, no se puede obtener el factor de potencia y por lo tanto la energía eléctrica no se puede determinar con precisión, entonces se debe usar el factor de potencia hipotético del 95% para determinar la energía eléctrica efectiva. Los registros relevantes deben mantenerse para evidencia. Los puntos de medición para la energía eléctrica real deben ser los mismos que para el PUE.

#### *5. Identificación del consumo de energía nominal total de dispositivos de TI:*

Utilizando el registro de gestión de la configuración del dispositivo, se debe obtener la potencia nominal máxima para todos los dispositivos informáticos instalados dentro de la zona de medición. Si no se establece dicho registro, la potencia nominal máxima debe obtenerse de la placa de identificación o de la hoja de datos del fabricante de los dispositivos. Para determinar el consumo nominal total de energía eléctrica [kWh], se debe multiplicar la potencia nominal máxima por el número de horas durante el período de medición, como indica la Fórmula 47.

$$\text{consumo nominal de energía [kWh]} = \text{pot nominal [kW]} \times \text{período de medición [h]} \quad (47)$$

Para la zona de medición, los valores de consumo nominal total de energía eléctrica de cada dispositivo de TI se deben agregar para determinar  $\Sigma$  (consumo nominal de energía eléctrica de dispositivos de TI) [kWh]. Se debe tener en cuenta que los diferentes proveedores usan diferentes valores de potencia nominal y que los dispositivos de TI

bajo suspensión de energía no se cuentan en el cálculo del consumo de electricidad nominal.

***Tratamiento en el cálculo de servidores apagados para ahorrar energía y otros fines:***

Si los servidores se mantienen apagados para ahorrar energía y otros fines, el consumo de energía nominal salvado correspondiente a la suspensión debe excluirse del cálculo ITEU, consumo de energía nominal total por dispositivos informáticos [kWh].

En estas pautas, "suspensión de energía" se refiere a S4 = Hibernación o S5 = Apagado en la especificación de la Interfaz Avanzada de Configuración y Energía (ACPI<sup>63</sup>), y estándar internacional para fuentes de alimentación. En modo de suspensión, los servidores no se excluyen del cálculo porque sus componentes siguen consumiendo electricidad. Las definiciones de ACPI se proporcionan en el Anexo D.

En el Anexo E se propone el formato de una plantilla para recoger los resultados de las mediciones para el ITEU y las condiciones en que se midieron. Para el llenado de la Tabla E.1 las horas durante las cuales la electricidad no se suministra a los dispositivos deben totalizarse y registrarse.

***Ejemplo:***

Cinco servidores, modelo A, funcionan de la siguiente manera:

Servidor 1: suspendido todos los fines de semana entre las 23:00 (sábado) y las 18:00 (domingo).

Servidores 2 y 3: no suspendidos.

---

<sup>63</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Advanced Configuration and Power Interface.

Servidores 4 y 5: suspendidos diariamente entre las 0:00 y las 7:00, entonces, el tiempo de suspensión mensual es

$$(19 \times 4 + 0 \times 2 + 7 \times 30 \times 2) = 496 \text{ horas.}$$

### ***Tratamiento de servidores blade***

Si la potencia nominal está disponible para el chasis y el blade, se debe registrar la potencia nominal máxima del chasis. Si los blades que tienen diferentes CPU se alojan en el mismo chasis, cada blade debe tratarse como una unidad de servidor, y se debe hacer un cálculo de la eficiencia energética de cada CPU.

### ***6. Cálculo de ITEU:***

ITEU se debe determinar a partir de  $\Sigma$  (consumo real de energía de Equipamientos de TI) y  $\Sigma$  (consumo nominal de energía eléctrica de dispositivos de TI). En el cálculo, la energía eléctrica medida  $\Sigma$  (consumo real de energía de equipos de TI) y la energía eléctrica nominal  $\Sigma$  (consumo nominal de energía eléctrica de dispositivos de TI) deben cubrir los mismos dispositivos de TI, como muestra la Fórmula 48. Si los dispositivos de TI tienen una redundancia, la energía eléctrica nominal debe calcularse solo para los dispositivos de TI activos, si son un tipo de espera activa, espera en frío, y para todos los dispositivos de TI, si son de tiempo completo o modo de espera. Las posibles configuraciones se muestra en las Figuras 12 y Figura 13.

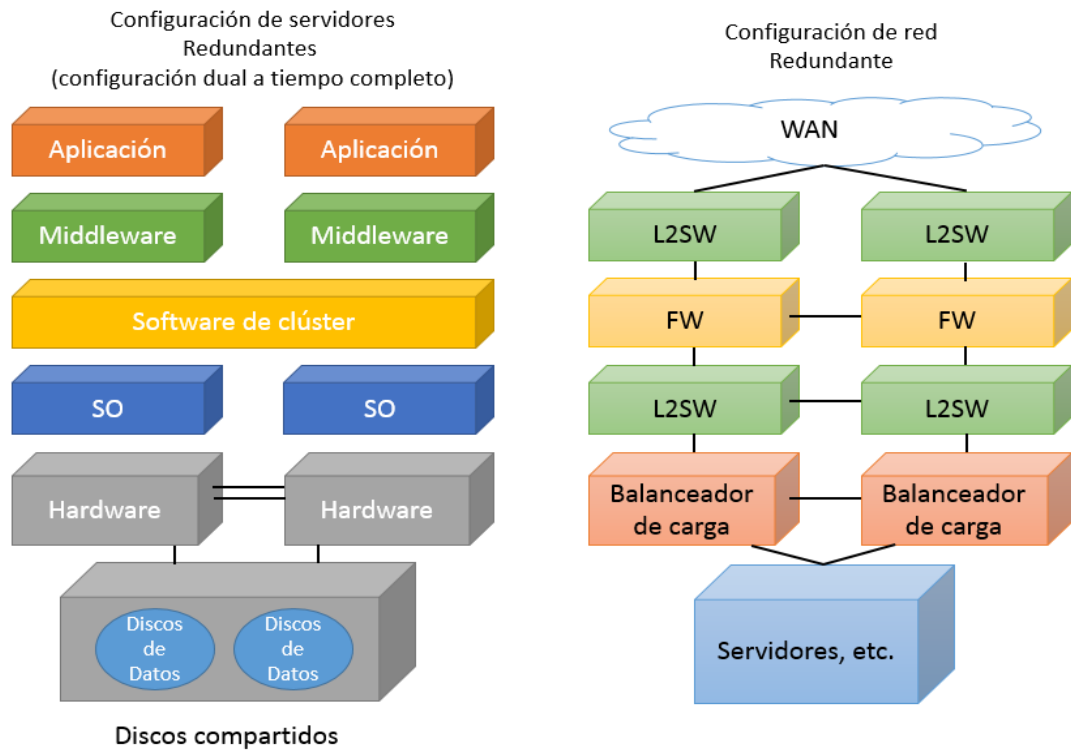


Figura 12. Configuración de redundancia dual a tiempo completo [12]

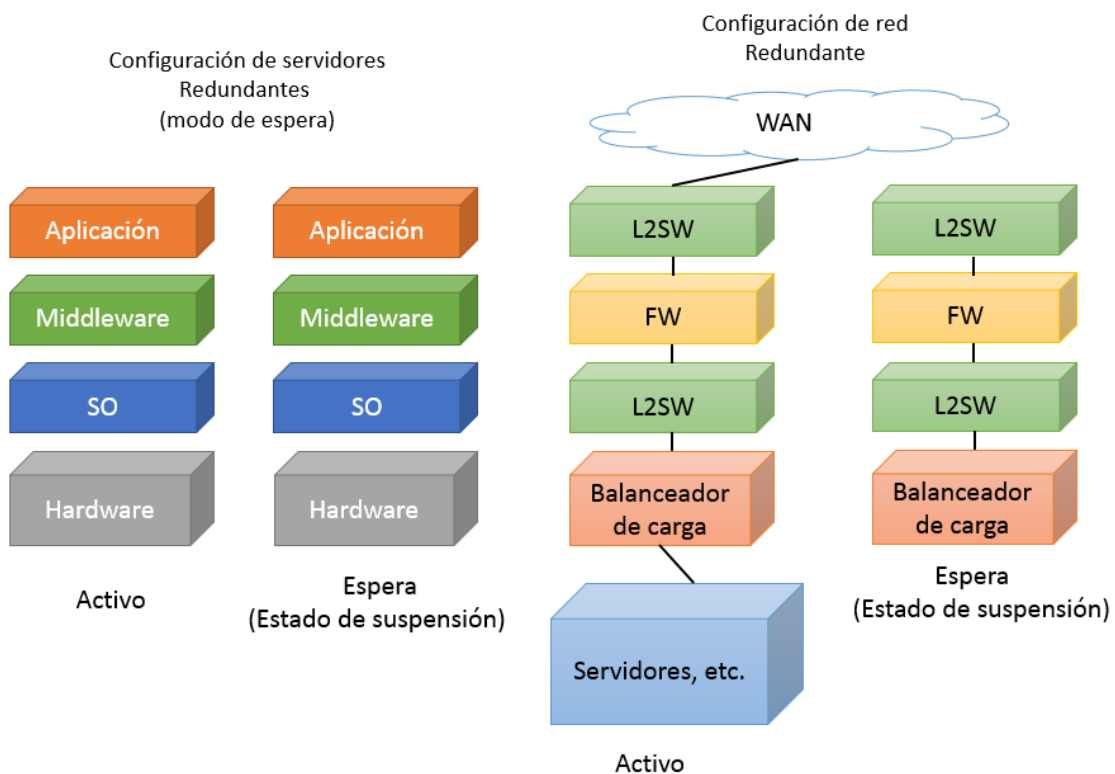


Figura 12. Configuración de redundancia de Activo-Pasivo [12]



$$\text{ITEU} = \frac{\begin{array}{c} \text{consumo total de energía} \\ \text{(energía eléctrica real medida)} \\ \text{en dispositivos de TI} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{consumo de energía nominal} \\ \text{total dispositivos de TI} \\ \text{(energía eléctrica nominal)} \end{array}} \quad (48)$$

### *Ejemplo de cálculo*

- La energía eléctrica medida para los dispositivos de TI fue de 396,000 kWh para el período de medición de 30 días.
- La energía eléctrica nominal total fue de 1,080,000 kWh (= 1500 kW × 24 horas × 30 días).

Entonces:

$$\text{ITEU} = \frac{396,000 \text{ [kWh]}}{1,080,000 \text{ [kWh]}} = 0.367 = 36.7 \%$$

**8)- Análisis de los resultados:** ITEU es un indicador de la eficiencia en el funcionamiento de los dispositivos de TI en el CD. Si ningún dispositivo de TI está funcionando en los CD, ITEU = 0, y si todos los dispositivos de TI están funcionando a plena capacidad, ITEU = 1. El resultado obtenido se debe registrar para su comparación con futuras mediciones. Analizando el resultado anterior como métrica independiente se puede llegar a la conclusión de que se pudieran aprovechar aún más las capacidades de los dispositivos de TI, tal vez mediante la virtualización, y de esta forma reducir la cantidad de equipos operativos en un CD.

Para el registro de esta prueba se debe usar la Tabla E.1. ubicada en el Anexo E.

### Medición del ITEE [12]

1)- Nombre de la prueba: Medición del ITEE.

2)- Tipo de prueba: Prueba de evaluación de eficiencia.

3)- Propósito de la prueba: Caracterizar la infraestructura y promover la introducción de dispositivos que tengan una alta capacidad de procesamiento por unidad de electricidad.

4)- Objetivo de la prueba: Cuantificar el valor de la métrica ITEE en un CD determinado. La misma puede ser interpretada de manera aislada o finalmente contribuir al cálculo del DPPE.

5)- Parámetros a ser medidos: ITEE se define como el valor de la capacidad nominal total de un dispositivo informático, trabajo útil, dividido por su potencia nominal total.

6)- Medios a emplear para las pruebas: Hojas de datos de los fabricantes que especifican valores de eficiencia energética en dependencia del tipo de dispositivo que sea.

7)- Descripción de la prueba: En el cálculo de ITEE, los dispositivos de TI que constituyen un CD se clasifican en tres tipos: servidores, unidades de almacenamiento y dispositivos de red. El valor de la eficiencia energética y la potencia nominal utilizados en el cálculo de ITEE se deben obtener a partir de las hojas de datos de los dispositivos respectivos. Dichos valores no están disponibles para algunos dispositivos porque son tan antiguos que sus hojas de datos de los fabricantes no estaban legalmente obligadas a contener información de valor relevante. Estos dispositivos de compra se excluyen del cálculo de la capacidad nominal total, y la potencia nominal total debe calcularse cubriendo solo los dispositivos de TI que se han utilizado en la determinación de la capacidad nominal total como se describe anteriormente.

ITEE se calcula como indica la Fórmula 49:

$$\text{ITEE} = \frac{\text{capacidad nominal total de los dispositivos de TI (trabajo útil)}}{\text{potencia nominal total (potencia nominal) de los dispositivos de TI [W]}} \quad (49)$$

Donde el Trabajo Útil es expresado por la Fórmula 50:

capacidad nominal total del dispositivo informático [Trabajo útil]

$$= \alpha \times \sum \left( \frac{\text{capacidad del servidor}}{[GFLOPS]} \right) + \beta \times \sum \left( \frac{\text{capacidad de la unidad de almacenamiento}}{[Gbyte]} \right) + \gamma \times \sum \left( \frac{\text{capacidad de la red}}{[Gbps]} \right) \quad (50)$$

$$\alpha = 7.72 [W / GFLOPS], \beta = 0.0933 [W / Gbyte], \gamma = 7.14 [W / Gbps]$$

Los coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  se utilizan para integrar las capacidades de los servidores, unidades de almacenamiento y dispositivos de red. El coeficiente  $\alpha$  se define como el número inverso de eficiencia energética para servidores estándar utilizados a partir del año 2005. De manera similar,  $\beta$  y  $\gamma$  son los números inversos de eficiencia energética para unidades de almacenamiento estándar y dispositivos de red, respectivamente, utilizados a partir de 2005. Eso es, "Capacidad nominal total de los dispositivos de TI" se refiere a la capacidad promedio de servidores, unidades de almacenamiento y dispositivos de red ponderados por el número inverso de eficiencia energética para 2005. Cuando ITEE se calcula para servidores, unidades de almacenamiento o dispositivos de red individualmente, el valor ITEE sería la relación entre la capacidad de procesamiento por unidad de energía de dichos dispositivos.

Al igual que el ITEU esta medición se rige por varias etapas.

*1. El período de medición:*

ITEE debe calcularse mensualmente, 00:00 del primer día hasta las 24:00 de los últimos días del mes. Para publicación o comparación, el valor ITEE debe ser, por regla general, el promedio de 12 meses de los valores ITEE. Se debe definir cualquier período de medición más corto que un año.

*2. Frecuencia de medición:*

Para la capacidad nominal total y la potencia nominal total [W] de los dispositivos de TI, el valor identificado a partir de la gestión de la configuración de los dispositivos debe usarse para calcular el valor de ITEE y el mismo se usará como valor diario hasta que ocurra alguna modificación en los dispositivos de TI. En caso de alguna modificación en el CD, dígame apagado de servidores por algunos días o rotura de alguno de los mismos, por ejemplo, se deben redefinir los valores de capacidad nominal total y potencia nominal total para el CD y calcularse nuevamente el valor de ITEE para de esta forma diariamente obtener un valor de ITEE lo más exacto posible. Para conformar el valor del mes de ITEE se deben promediar los valores diarios de ITEE del mes.

### *3. Selección de dispositivos de TI para medición:*

La zona de medición también debe determinarse en función de la potencia nominal obtenida por piso, por PDU, por rack, o por otra unidad y en la medida en que la medición real del consumo de electricidad sea factible. Los dispositivos de TI deben clasificarse en tres tipos: servidores, unidades de almacenamiento y dispositivos de red.

### *4. Cálculo de la potencia nominal de los dispositivos de TI:*

El registro de administración de la configuración del dispositivo debe verificarse para la potencia nominal máxima de todos los servidores, unidades de almacenamiento y dispositivos de red instalados dentro de la zona de medición. Si no se establece un registro, verifique las placas de identificación o las hojas de datos de los dispositivos. Los otros dispositivos de TI deben excluirse del cálculo de la capacidad nominal. La potencia nominal total  $P_n$ , Fórmula 51, debe determinarse para todos los servidores, unidades de almacenamiento y dispositivos de red instalados dentro de la zona de medición.

$$\Sigma (P_n) [W] = \Sigma (P_{n_{\text{servidor}}}) + \Sigma (P_{n_{\text{almacenamiento}}}) + \Sigma (P_{n_{\text{nw}}}) \quad (51)$$

En donde:

$Pn_{servidor}$ : potencia nominal de un servidor.

$Pn_{almacenamiento}$ : potencia nominal de una unidad de almacenamiento.

$Pn_{nw}$ : potencia nominal de equipos de red.

1. *Cálculo de la capacidad nominal de los dispositivos de TI ( $Xn_{servidor}$ ,  $Xn_{almacenamiento}$  y  $Xn_{nw}$ )*

La capacidad nominal debe determinarse sobre la base de la "eficiencia energética" y la potencia nominal máxima especificada en las respectivas hojas de datos de dispositivos de TI. Las Fórmulas 52, 53 y 54 indican su expresión matemática.

$$Xn_{servidor} \text{ [GFLOPS]} = \frac{Pn_{servidor} \text{ [W]}}{\text{eficiencia energética de } Xn_{servidor} \left[ \frac{W}{GFLOPS} \right]} \quad (52)$$

$$Xn_{almacenamiento} \text{ [Gbyte]} = \frac{Pn_{almacenamiento} \text{ [W]}}{\text{eficiencia energética de } Xn_{almacenamiento} \left[ \frac{W}{Gbyte} \right]} \quad (53)$$

$$Xn_{nw} \text{ [Gbps]} = \text{rendimiento total de } Xn_{nw} \text{ (\# de puertos} \times \text{velocidades máx totales)} \text{ [Gbps]} \quad (54)$$

Luego se deben multiplicar las capacidades nominales de cada dispositivo de TI ( $Xn_{servidor}$ ,  $Xn_{almacenamiento}$ ,  $Xn_{nw}$ ) con sus respectivos coeficientes ( $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ) para determinar la capacidad nominal total  $Xn$ , como indica la Fórmula 55.

$$\Sigma (Xn) \text{ [W]} = \Sigma (\alpha \times Xn_{servidor}) + \Sigma (\beta \times Xn_{almacenamiento}) + \Sigma (\gamma \times Xn_{nw}) \quad (55)$$

2. *Cálculo de ITEE*

ITEE debe calcularse utilizando la capacidad nominal total  $\Sigma (Xn)$  y la potencia nominal total  $\Sigma (Pn)$  como indica la Fórmula 56.

$$ITEE = \frac{\Sigma (Xn)}{\Sigma (Pn)} \quad (56)$$

La capacidad nominal total  $\Sigma (Xn)$  y la potencia nominal total  $\Sigma (Pn)$  deben cubrir los mismos dispositivos informáticos en el cálculo. Si los dispositivos de TI tienen

redundancia, la capacidad nominal y la potencia nominal se deben calcular solo para los dispositivos de TI activos, si son un tipo de espera activa, espera en frío, y para todos los dispositivos de TI, si son un dispositivo dual de tiempo completo, espera caliente, como se especificó en el cálculo de la anterior métrica ITEU.

### ***Tratamiento de servidores blade***

Si hay disponible potencia nominal para el chasis y el blade, se debe registrar la potencia nominal máxima (del chasis). Si los blades que tienen CPU diferentes están alojadas en el mismo chasis, cada blade debe tratarse como una unidad de servidor y el cálculo debe hacerse por la eficiencia energética de cada CPU.

### ***Tratamiento de almacenamiento***

Si las unidades de disco tienen diferentes valores de eficiencia energética, la configuración máxima de los módulos debe usarse para el cálculo.

### ***Dispositivos de red***

Si se desconoce el número real de puertos montados, se puede ingresar la cantidad máxima de puertos indicada en la hoja de datos del fabricante.

### ***Ejemplo de cálculo:***

La Ley de Ahorro de Energía requiere la descripción de los valores de eficiencia energética en las hojas de datos del fabricante, no la capacidad del dispositivo de TI. Por esta razón, es necesario determinar la capacidad de los servidores y las unidades de almacenamiento mediante el uso de la potencia nominal y la eficiencia energética.

Servidor: 420 [unidad], consumo máximo de electricidad 209 [W], eficiencia energética 0.0016 [Categoría d].

$$\bullet \quad X_{n_{\text{servidor}}} = \frac{209 \text{ [W]}}{0.0016 \left[ \frac{\text{W}}{\text{MFLOPS}} \right] \times 1000} = 130 \left[ \frac{\text{GFLOPS}}{\text{unidad}} \right]$$

Unidad de almacenamiento: 42 [unidad], consumo máximo de electricidad 4.620 [W], eficiencia energética 0.025 [AAA].

- $Xn_{\text{almacenamiento}} = \frac{4.620 \text{ [W]}}{0.025 \left[ \frac{\text{W}}{\text{Gbyte}} \right]} = 184.800 \left[ \frac{\text{Gbyte}}{\text{unidad}} \right]$

Red: 84 [unidad], consumo máximo de electricidad 145 [W], BW 1 [Gbps], 24 puertos por unidad. Todos los puertos se pueden configurar para 10/100 Mbps, y 14 de ellos se pueden configurar para 1Gbps.

- $Xn_{nw} = 10 \times 0.1 \text{ [Gbps]} + 14 \times 1 \text{ [Gbps]} = 15 \left[ \frac{\text{Gbps}}{\text{unidad}} \right]$

ITEE se puede calcular utilizando la capacidad de un dispositivo de TI multiplicado por la cantidad de dispositivos:

$$ITEE = \frac{\sum (Xn)}{\sum (Pn)}$$

$$ITEE = \frac{\sum (\alpha \times Xn_{\text{servidor}}) + \sum (\beta \times Xn_{\text{almacenamiento}}) + \sum (\gamma \times Xn_{nw})}{\sum (Pn_{\text{servidor}}) + \sum (Pn_{\text{almacenamiento}}) + \sum (Pn_{nw})}$$

$$\alpha = 7.72 \left[ \frac{\text{W}}{\text{GFLOPS}} \right]$$

$$\beta = 0.0933 \left[ \frac{\text{W}}{\text{Gbyte}} \right]$$

$$\gamma = 7.14 \left[ \frac{\text{W}}{\text{Gbps}} \right]$$

$$ITEE = \frac{420 \text{ [unid]} \times (7.72 \times 130) + 42 \text{ [unid]} \times (0.0933 \times 184.800) + 84 \text{ [unid]} \times (7.14 \times 15)}{420 \text{ [unid]} \times 209 + 42 \text{ [unid]} \times 4.620 + 84 \text{ [unid]} \times 145} = 4.3$$

En caso de que no se contaran con las hojas de datos de los fabricantes de los equipos o el cálculo de las capacidades de los equipos de TI fuera demasiado engorroso se considera que se pudiera obviar el cálculo de ITEE y darle valor 1 ya que, aunque carezca de un dato importante la métrica DPPE sería siendo útil ya que seguiría evaluando la utilización de los equipos de TI (ITEU), la eficiencia del sistema HVAC (PUE) y cuán verde es la energía que se consume en el CD.

8)- Análisis de los resultados: ITEE es un indicador del consumo de energía en relación con la capacidad potencial de los dispositivos de TI en el CD. Su valor aumenta a medida que se introducen más dispositivos de TI que ahorran energía. El resultado obtenido se debe registrar para su comparación con futuras mediciones.

El análisis de esta métrica resulta complicado por varios motivos. Primero, su valor ideal es infinito. Segundo, no se ha identificado un valor óptimo en la bibliografía revisada. Y tercero, su valor depende en gran medida de las dimensiones del CD. Por tanto, si se quisiera analizar esta métrica de manera aislada, lo más lógico sería realizar mediciones iniciales para calibrar el CD desde este punto de vista y posterior a esto comparar futuras mediciones para detectar anomalías u oportunidades. Por otra parte, esta medición representa una submétrica del DPPE la cual evalúa de manera integral un CD.

Para el registro de esta prueba se debe usar la Tabla F.1. ubicada en el Anexo F.

#### Medición de GEC [12]

- 1)- Nombre de la prueba: Medición del GEC.
- 2)- Tipo de prueba: Prueba de evaluación de eficiencia.
- 3)- Propósito de la prueba: Caracterizar la infraestructura y evaluar hasta qué punto la energía que se consume en el CD proviene de fuentes renovables como la generación fotovoltaica o la eólica.
- 4)- Objetivo de la prueba: Cuantificar el valor de la métrica GEC en un CD determinado. La misma puede ser interpretada de manera aislada o finalmente contribuir al cálculo del DPPE.



5)- Parámetros a ser medidos: GEC es un valor del consumo de energía verde producida por generación fotovoltaica o eólica en las instalaciones del centro de datos dividido por el consumo total de energía en el centro de datos, como indica la Fórmula 57.

$$\text{GEC} = \frac{\text{energía verde generada y utilizada en las instalaciones del CD [kWh]}}{\text{consumo total de energía en el centro de datos [kWh]}} \quad (57)$$

\* Energía verde: energía generada mediante el uso de fuentes de energía naturales como la luz solar y el viento.

6)- Medios a emplear para las pruebas: Al igual que el ITEU y el PUE se utilizan equipos para medir energía eléctrica sea portátiles o de instalación permanente. También el rango de error de medición de los instrumentos debe definirse expresamente.

7)- Descripción de la prueba: Esta medición se rige por varias etapas [12]:

La unidad [kWh] se debe usar como unidad básica para que sea compatible con el cálculo del consumo total de energía. La métrica GEC es un indicador diseñado para alentar al operador del CD a introducir unidades generadoras de energía basadas en fuentes de energía naturales y solo debe cubrir la energía verde, energía eléctrica y otros tipos de energía, producida y consumida en las instalaciones del CD. La electricidad verde producida fuera de las instalaciones del CD y provista en forma comercial no se incluye en el indicador y será tratada como energía comercial. Por otro lado, la energía producida usando el calor de escape de los equipos en el CD se incluye en energía verde. La energía producida en las instalaciones del CD utilizando el calor de escape que se descarga de equipos utilizados para otros fines, por ejemplo, calderas para fabricación, no se considera energía verde, ya que la energía así obtenida se considera utilizada como fuente de calor para calderas y aire acondicionado. En cambio, dicha energía se incluye en el cálculo del consumo total de energía en el CD.

En la Figura 14 se puede observar de forma general un esquema de un CD con puntos de mediciones estratégicos para abordar el tratamiento de la energía verde y el calor de escape.

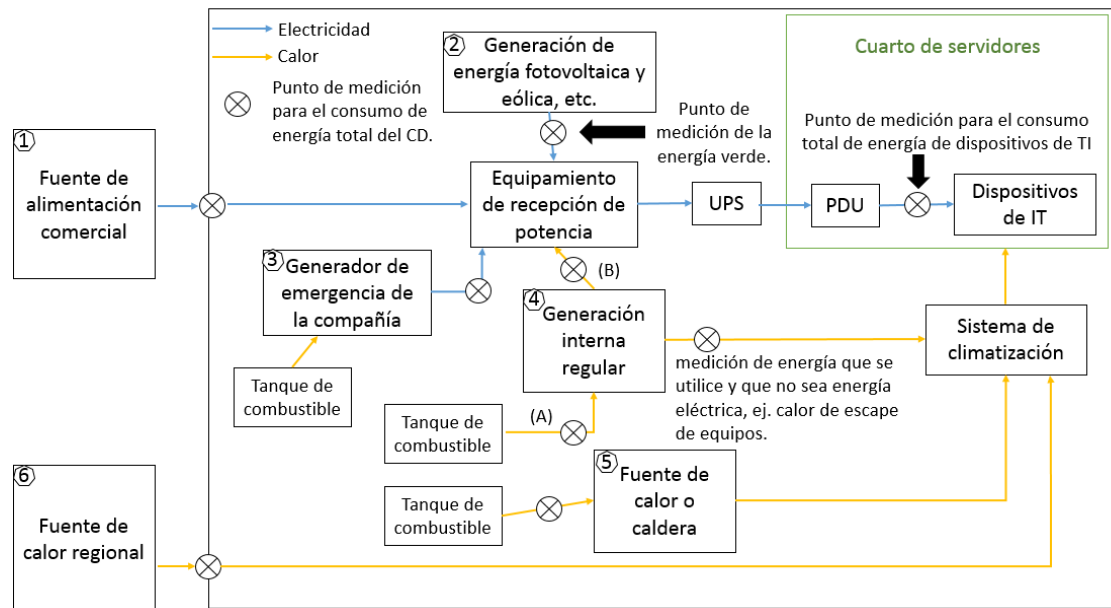


Figura 14. Puntos de medición del GEC y tratamiento de la electricidad verde y el calor de escape [12]

### 1. Período de medición:

El GEC debe medirse y calcularse mensualmente, desde las 00:00 del primer día hasta las 24:00 del último día del mes. Para publicación o comparación, GEC debe proporcionarse, por regla general, en un valor integrado de consumo de energía que cubra todo el año. Se puede definir cualquier período de medición más corto que un año.

### 2. Frecuencia de medición:

Por regla general, la energía verde, por ejemplo, electricidad generada por generación fotovoltaica, y el consumo total de energía, energía eléctrica, en el CD debe medirse utilizando valores integrados continuos. Si no pueden obtenerse mediciones integradas durante todo el período de medición debido a la falta de disponibilidad de un instrumento

de medición integrador o por cualquier otro motivo, se debe usar uno de los siguientes métodos para determinar los valores integrados:

- Seleccione un día dentro del mes de medición, mida y registre continuamente los valores instantáneos, utilizando un medidor de potencia portátil, durante todo el día para determinar el valor integrado del día y multiplique el valor por el número de días del mes para determinar el valor integrado para el mes.
- Seleccione un día dentro del mes de medición, mida y registre un valor instantáneo, usando un medidor de potencia portátil, una vez por día, conviértalo en un valor de 24 horas y luego multiplique el valor por el número de días del mes para determinar el valor integrado para el mes.

El método utilizado debe especificarse junto con los valores medidos.

### 3. Energía verde (E\_T\_V)

La energía eléctrica [kWh] generada durante el período de medición debe medirse utilizando un medidor de potencia instalado en las unidades de generación de energía fotovoltaica o eólica.

### 4. Medición del consumo total de energía en el centro de datos (E\_T\_CD)

El mismo procedimiento debe tomarse como con PUE. El consumo de electricidad [kWh] se debe medir utilizando un medidor de potencia en el equipo receptor de energía en el CD. El consumo de energía de otras fuentes además de la electricidad, como el combustible, se debe medir por separado con un medidor de combustible u otro equipo.

### 5. Cálculo del GEC.

La Fórmula 58 indica la expresión matemática del GEC.

$$\text{GEC} = \frac{\text{energía verde generada y utilizada en las instalaciones del centro de datos [kWh]}}{\text{consumo total de energía en el centro de datos [kWh]}} \quad (58)$$

$$GEC = \frac{E_{T\_V} \text{ (kWh)}}{E_{T\_CD} \text{ (kWh)}} \quad (58)$$

En donde:

$E_{T\_V}$ : cantidad de energía verde (energía natural) generada y utilizada en las instalaciones del CD.

$E_{T\_CD}$ : consumo total de energía del CD (igual que  $E_{T\_CD}$  para el PUE).

*Ejemplo de cálculo:*

Suponiendo que la energía eléctrica recibida por fuentes comerciales al CD es de 350,000 [kWh], la electricidad de generación fotovoltaica es de 40,000 [kWh], y el consumo de combustible, tipo de aceite pesado, por calderas para el aire acondicionado es de 20,3 [kl], el siguiente valor puede ser adquirido:

$$GEC = \frac{40,000 \text{ [kWh]}}{350,000 \text{ [kWh]} + 40,000 \text{ [kWh]} + 20.3 \text{ [kl]} \times 10\,861 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{kl}} \right] \times 0.35} = 0.0856 \times 100\% = 8.56 \%$$

8)- Análisis de los resultados: GEC aumenta a medida que se genera más energía verde libre de Dióxido de Carbono (Co2) dentro del CD de fuentes tales como la energía solar y la energía eólica. Mientras mayor sea el valor resultante del GEC mayor contribución tendrán las energías renovables en el consumo de energía del CD lo que puede contribuir en la reducción de costos de operación y a la vez al mejoramiento de nuestro medio ambiente. El resultado obtenido se debe registrar para su comparación con futuras mediciones.

Para el registro de esta prueba se debe usar la Tabla G.1 ubicada en el Anexo G.

Cálculo del Rendimiento del CD por Energía (DPPE) [12]

1)- Nombre de la prueba: Medición del DPPE.

2)- Tipo de prueba: Prueba de evaluación de eficiencia.

3)- Propósito de la prueba: Caracterizar y evaluar la infraestructura.

4)- Objetivo de la prueba: Cuantificar el valor de la métrica DPPE en un CD determinado.

La misma brinda información de manera general y permite calificar un CD tomando en cuenta varios aspectos y submétricas: ITEU, ITEE, PUE y GEC.

5)- Parámetros a ser medidos: DPPE se define como rendimiento por unidad de energía no verde. Este valor se expresa en la Fórmula 59 utilizando los cuatro indicadores definidos anteriormente:

$$DPPE = ITEU * ITEE * \frac{1}{PUE} * \frac{1}{1-GEC} \quad (59)$$

6)- Medios a emplear para las pruebas: Llegados a este punto se deben utilizar simplemente los mismos materiales que se utilizaron en la medición de ITEU, ITEE, PUE y GEC.

7)- Descripción de la prueba: Esta medición se rige por varias etapas [12].

Los valores de DPPE, ITEU, ITEE, PUE y GEC deben calcularse al menos con dos lugares decimales redondeándolos. DPPE es un indicador total determinado sobre la base de cuatro indicadores y, por lo tanto, el valor en sí mismo representa una eficiencia total, por lo que permite identificar el estado de cada actividad de ahorro de energía en un CD.

Actualmente, dado que la información de configuración del dispositivo se gestiona de manera insuficiente en los centros de datos, es complejo medir la potencia nominal y la eficiencia energética para todos los dispositivos de TI en CD, específicamente en ITEU e ITEE para un CD en general. En la práctica, PUE y GEC se miden para el CD como un todo, mientras que ITEU e ITEE se miden solo para algunos dispositivos de TI medibles,

lo que puede causar una diferencia entre CD en el rango de medición para dispositivos de TI.

#### 1. Período de medición

El DPPE debe medirse y calcularse mensualmente, desde las 00:00 del primer día hasta las 24:00 del último día del mes. Para publicación o comparación, el DPPE debe proporcionarse, por regla general, en un valor integrado de consumo de energía que cubra todo el año. Se puede definir cualquier período de medición más corto que un año.

#### 2. Frecuencia de medición

Mensualmente los valores de DPPE deben ser calculados usando los valores de los subindicadores de cada mes. DPPE debe ser calculado sobre la base de valores integrados en cada subindicador cubriendo todo el año. La frecuencia de medición para cada subindicador debe estar regida por los métodos especificados en secciones anteriores.

#### 3. Selección del rango de medición

La zona de medición debe determinarse por piso, por PDU, por rack o por otra unidad en la medida en que ITEU e ITEE puedan medirse y calcularse en la administración de configuración de dispositivos de TI.

#### 4. Medición de ITEU e ITEE

ITEU e ITEE deben medirse y calcularse, además, deberían cubrir los mismos dispositivos de TI.

#### 5. Medición de PUE y GEC

PUE y GEC deben medirse y calcularse, además, deberían cubrir todo el centro de datos.

#### 6. Cálculo de DPPE

DPPE debe calcularse para el centro de datos como un todo y para cada sistema sobre la base de ITEU, ITEE, PUE y GEC. ITEU, ITEE, PUE y GEC deben cubrir el mismo período de medición.

### Ejemplo de cálculo

Los valores del subindicador obtenidos son los siguientes.

$$\Rightarrow \text{ITEU} = 0.367$$

$$\Rightarrow \text{ITEE} = 4.3$$

$$\Rightarrow \text{PUE} = 2.03$$

$$\Rightarrow \text{GEC} = 0.0856$$

$$DPPE = 0.367 \times 4.3 \times \frac{1}{2.03} \times \frac{1}{1-0.0856} = 0.85$$

En la Figura 15 se puede apreciar la diferencia entre las cuatro submétricas en cuanto al rango de dispositivos que abarca su medición.

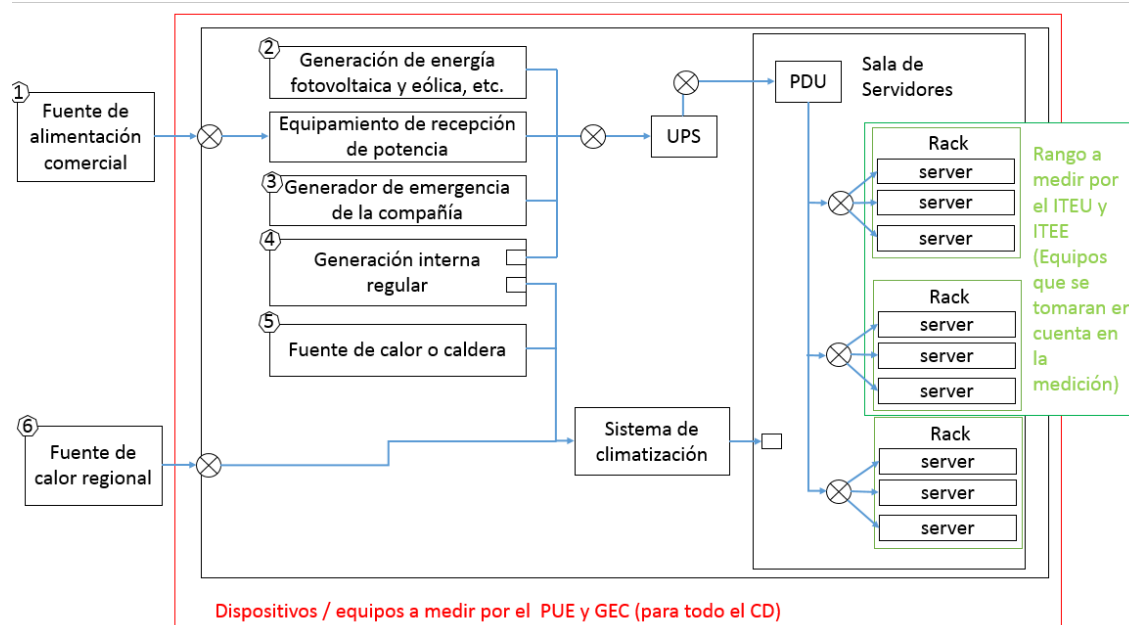


Figura 15. Diferencia en el rango de medición entre ITEU / ITEE y PUE / GEC [12]

En estudios realizados en Japón hasta 2011 en cerca de 20 CD se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 17:

Tabla 17. Resultado de las evaluaciones realizadas en 20 CD en Japón hasta 2011 [11]

Métricas	Peor caso	Mejor caso
ITEU	0.2	0.7
ITEE	1.00	6.41
PUE	2.5	1.2
GEC	0	0.3
DPPE	0.08	5.34

8)- Análisis de los resultados: DPPE así calculado no representa la eficiencia energética de todos los dispositivos de TI en el CD, sino que representa la eficiencia energética de los dispositivos que se incluyeron en la medición del ITEU y el ITEE. Recordar que para calcular estas métricas es necesario contar con las hojas de datos de los equipos, y el equipo que no lo tenga se debe excluir de la medición [12]. El resultado obtenido se debe registrar para su comparación con futuras mediciones.

Para el registro de esta prueba se debe usar la Tabla H.1 ubicada en el Anexo H.

### Categoría de Disponibilidad

Indica la capacidad del sistema de mantener los servicios activos y operables. La Fórmula 60<sup>64</sup> indica su valor numérico en función de la evaluación de sus atributos.

$$Disponibilidad = \frac{\sum_{i=1}^n Atributo_i}{n} \quad (60)$$

En donde:

Atributo<sub>i</sub>: es la evaluación final otorgada a los atributos de la categoría de disponibilidad:

% de servicio activo, tolerancia a fallos, recuperación ante fallos y confiabilidad.

n: número de atributos total.

<sup>64</sup> De igual forma puede emplearse la media ponderada.



La Disponibilidad se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < \text{Disponibilidad} * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < \text{Disponibilidad} * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $\text{Disponibilidad} * 100\% \leq 80\%$ .

#### Atributo de % de servicio activo

Indica el porcentaje del tiempo en el que los usuarios pueden acceder y operar el servicio.

#### Métricas y procedimiento de evaluación

Se adoptó la propuesta de plantilla de métricas para el porcentaje de servicio activo propuesto por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST<sup>65</sup>) en [14]. La Figura 16 muestra un diagrama de la plantilla de la métrica propuesta por el NIST en [14].

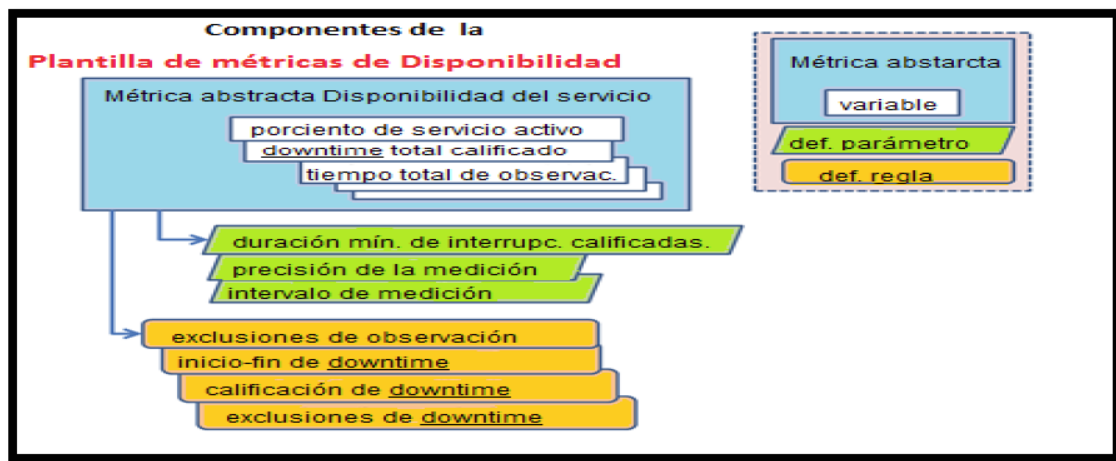


Figura 16. Plantilla de la métrica de Disponibilidad del NIST [14]

La Tabla 18 muestra una definición precisa de la plantilla de la métrica.

Tabla 18. Definición de variables, parámetros y reglas de la plantilla en [14]

Definición de variables primarias
-----------------------------------

<sup>65</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: National Institute of Standards and Technology.

Nombre	Tipo	Expresión
porcentaje de servicio activo	porcentaje	= (tiempo total de observación – <u>downtime</u> total calificado) * 100 / tiempo total de observación
<b>Definición de variables secundarias</b>		
tiempo total de observación	duración	= <b>sum</b> (intervalos de observación)
<u>downtime</u> total calificado	duración	= <b>sum</b> (intervalos <u>downtime</u> calificados)
intervalos de observación	intervalos de tiempo	= ( <b>aplicar</b> (reglas de exclusiones de observación) a intervalo de medición)
intervalos de <u>downtime</u> calificados	intervalos de tiempo	= intervalos de observación <b>intercepto</b> ( <b>aplicar</b> (reglas de exclusiones de <u>downtime</u> ) a intervalos de <u>downtime</u> reales)
intervalos de <u>downtime</u> reales	intervalos de tiempo	= <b>aplicar</b> (reglas de calificación de <u>downtime</u> , reglas de inicio-fin de <u>downtime</u> ) a intervalo de medición
<b>Definición de parámetros</b>		
intervalo de medición	intervalos de tiempo	Define el(los) período(s) real(es) de tiempo usado(s) para calcular el porcentaje de disponibilidad. Parámetro <i>dinámico</i> (se instancia en el momento de evaluación de la métrica)
precisión de la medición	duración	Cantidad mínima de tiempo usada en todas las mediciones y que expresa la precisión o granularidad de las medidas (expresada en segundos). Parámetro <i>estático</i> (se instancia en el momento de definición de la métrica)
duración mínima de las interrupciones calificadas	duración	Define la duración mínima, bajo la cual un <u>downtime</u> no será calificado. Parámetro <i>estático</i> (se instancia en el momento de definición de la métrica)
<b>Definición de reglas</b>		
exclusiones de observación	intervalos de observación	Reglas de este tipo determinan qué períodos de tiempo no cuentan como parte del periodo de observación (ej.: mantenimientos programados)
inicio-fin de <u>downtime</u>	intervalos de <u>downtime</u> reales	Reglas de este tipo determinan cómo identificar el principio y fin de un <u>downtime</u> .
calificación de <u>downtime</u>	intervalos de <u>downtime</u> reales	Reglas de este tipo definen la naturaleza precisa de un <u>downtime</u> .
exclusiones de <u>downtime</u>	intervalos de <u>downtime</u> calificados	Estas reglas determinan problemas en los servicios que no califican como <u>downtimes</u> (ej.:

		problemas causados por un evento externo incontrolable como un terremoto, o pérdidas del servicio por parte del cliente). Una de estas reglas a menudo establece una duración mínima para el <u>downtime</u> , por debajo de la cual los <u>downtime</u> no se cuentan (ej.: un <u>downtime</u> debe tardar al menos 10 min. Este tiempo mínimo es contemplado por un parámetro: <b>duración mínima de las interrupciones calificadas</b> .
--	--	---

De la Tabla 18 se debe señalar la diferencia entre las variables y los parámetros. Una variable está asociada con una expresión que calcula su valor durante la aplicación de la métrica, mientras que un parámetro es un rango para un valor que debe ser determinado antes de que la métrica sea realmente usada. Puede ser establecido en el momento en que la métrica es creada de la plantilla en caso de que el valor sea el mismo para todas las aplicaciones. Ese tipo de parámetros son conocidos como parámetros estáticos. De otra manera puede ser establecido en cada aplicación de la métrica si este cambia de una aplicación a otra. Este tipo de parámetros se conoce como parámetros dinámicos. Otro aspecto a señalar es el uso de operadores genéricos, como el operador **sum** de la suma, el operador **aplicar** para la aplicación de reglas y el operador **intercepto** correspondiente a la operación matemática entre conjuntos intercepto. [14]

La Figura 17 resume el conjunto de definiciones brindadas. En ella se aprecia cómo los intervalos de downtime calificados son el resultado de la intersección de los intervalos de observación con los intervalos de downtime reales una vez que les han sido aplicadas a estos últimos las reglas de exclusiones de downtime.

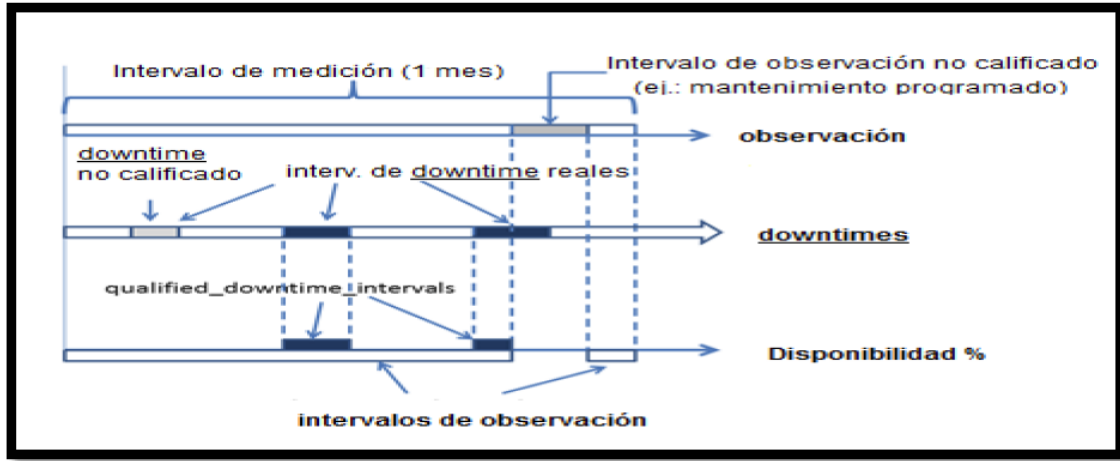


Figura 17. Intervalo de medición con parámetros y reglas aplicadas [14]

En consecuencia, para poder evaluar el “% de servicio activo” es necesario monitorizar los parámetros definidos en la Tabla 18, y conciliar las reglas. De manera general los parámetros son definidos para un año fiscal, pero esto puede ser conciliado con la entidad cliente de acuerdo a sus necesidades y requerimientos. Las herramientas a emplear pueden ser el CMP o herramientas de gestión como Zabbix. Si cumple con los requerimientos de disponibilidad acordados, la evaluación debe ser de Excelente (1), de lo contrario Mal (0).

#### Atributo de Tolerancia a Fallos

Indica la capacidad de la infraestructura de la NP para continuar operando adecuadamente ante la ocurrencia de fallos planificados o no, en uno o más componentes.

#### Métricas

La métrica principal propuesta es el “Factor de Tolerancia a Fallos ( $F_{TF}$ )”, expresada como indica la Fórmula 61.

$$F_{TF} = \min\{F_{TF_h}; F_{TF_{rc}}; F_{TF_{SA}}; F_{TF_{red}}; F_{TF_{CMP}}; F_{TF_{HVAC}}\} \quad (61)$$

En donde:

$F_{TFh}$ : es el  $F_{TF}$  de la plataforma de virtualización.

$F_{TFrc}$ : es el  $F_{TF}$  de los recursos de cómputo.

$F_{TFSA}$ : es el  $F_{TF}$  del SA.

$F_{TFred}$ : es el  $F_{TF}$  de la red intra-nube.

$F_{TFCMP}$ : es el  $F_{TF}$  del CMP.

$F_{TFh}$ : es el  $F_{TF}$  de la plataforma de virtualización.

$F_{TFHVAC}$ : es el  $F_{TF}$  de los HVAC.

Se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < F_{TF} * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < F_{TF} * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $F_{TF} * 100\% \leq 80\%$ .

#### *Procedimiento de evaluación*

El procedimiento de identificación de la Tolerancia a Fallos, en función de la métrica primaria definida, consiste en las siguientes tareas:

- 1- Identificar el Rated a la que el diseño de la infraestructura de la NP debe responder, de acuerdo al procedimiento definido con este objetivo en la Fase 1.
- 2- Evaluar la tolerancia a fallos de cada uno de los subsistemas que conforman la infraestructura de la NP, considerando el cumplimiento de lo establecido por el Rated identificado, según los estándares.

3- Identificar el subsistema con el menor Factor de Tolerancia a Fallos, como indica la Fórmula 38. Si los recursos HVAC no cumplen con el Rated se le debe otorgar un valor de 0, Mal, de lo contrario 1.

4- Brindar la evaluación obtenida

#### Atributo de Recuperación ante Fallos

Indica la capacidad de la infraestructura de la NP de recuperarse ante la ocurrencia de fallos no planificados que afecten su operación normal.

#### Métricas y procedimiento de evaluación

La métrica principal propuesta es el “Factor de Recuperación ante Fallos ( $F_{RF}$ )”, expresada como indica la Fórmula 62.

$$F_{RF} = \max\{F_{RFh}; F_{RFrc}; F_{RFSA}; F_{RFred}; F_{RFCMP}; F_{RFHVAC}; F_{RFiaas}\} \quad (62)$$

En donde:

$F_{RFh}$ : es el Tiempo Medio de Recuperación (MTTR<sup>66</sup>) de la plataforma de virtualización.<sup>67</sup>

$F_{RFrc}$ : es el MTTR de los recursos de cómputo.<sup>68</sup>

$F_{RFSA}$ : es el MTTR del SA.

$F_{RFred}$ : es el MTTR de la red intra-nube.

$F_{RFCMP}$ : es el MTTR del CMP.

$F_{RFHVAC}$ : es el MTTR de los HVAC.

$F_{RFiaas}$ : es el MTTR del servicio de IaaS.

---

<sup>66</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Mean Time to Repair.

<sup>67</sup> Fallos en los nodos de cómputo debido a mal funcionamiento de la plataforma de virtualización.

<sup>68</sup> Fallos en los nodos de cómputo debido a mal funcionamiento de HW.

La recuperación ante fallos debe ser evaluada en cada subsistema y en el servicio de IaaS para identificar el peor valor. En el caso del servicio de IaaS, la identificación del MTTR debe ser realizada empleando el procedimiento indicado para obtener “el porcentaje de servicio activo”<sup>69</sup>. El  $F_{RF}$  adoptará el valor de 1 si es Satisfactorio, en caso contrario 0, Insatisfactorio.

#### Atributo de Confiabilidad

Brinda una medida de cómo opera sin fallas la infraestructura de la NP bajo condiciones dadas durante un período de tiempo determinado.

#### Métricas y procedimiento de evaluación

La métrica principal propuesta es el “Factor de Confiabilidad ( $F_C$ )”, expresada como indica la Fórmula 63.

$$F_{RF} = \min\{F_{Ch}; F_{C_{rc}}; F_{C_{SA}}; F_{C_{red}}; F_{C_{CMP}}; F_{C_{HVAC}}; F_{C_{IaaS}}\} \quad (63)$$

En donde:

$F_{Ch}$ : es el Tiempo Medio entre Fallos (MTBF<sup>70</sup>) de la plataforma de virtualización.

$F_{C_{rc}}$ : es el MTBF de los recursos de cómputo.

$F_{C_{SA}}$ : es el MTBF del SA.

$F_{C_{red}}$ : es el MTBF de la red intra-nube.

$F_{C_{CMP}}$ : es el MTBF del CMP.

$F_{C_{HVAC}}$ : es el MTBF de los HVAC.

$F_{C_{IaaS}}$ : es el MTBF del servicio de IaaS.

<sup>69</sup> Los fallos contabilizados en el servicio de IaaS deben ser originados por problemas en la infraestructura y/o servicios de soporte de la NP.

<sup>70</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Mean time Between Failures.

La confiabilidad debe ser evaluada en cada subsistema y en el servicio de IaaS para identificar el peor valor. En el caso del servicio de IaaS, la identificación del MTBF debe ser realizada empleando el procedimiento indicado para obtener “el por ciento de servicio activo”<sup>71</sup>. El  $F_c$  adoptará el valor de 1 si es Satisfactorio, en caso contrario 0, Insatisfactorio.

## Dimensión de Factibilidad

Indica el grado de factibilidad del sistema desde las perspectivas de: costos, usabilidad y robustez de la infraestructura de la NP. La Fórmula 64<sup>72</sup> indica su valor numérico en función de la evaluación de sus categorías.

$$Factibilidad = \frac{\sum_{i=1}^n Categoría_i}{n} \quad (64)$$

En donde:

Categoría<sub>i</sub>: es la evaluación final otorgada a las categorías de factibilidad: usabilidad, robustez y factibilidad económica.

n: número de atributos total.

La Factibilidad de la infraestructura de la NP se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < Factibilidad * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < Factibilidad * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $Factibilidad * 100\% \leq 80\%$ .

---

<sup>71</sup> Los fallos contabilizados en el servicio de IaaS deben ser originados por problemas en la infraestructura y/o servicios de soporte de la NP.

<sup>72</sup> De igual forma puede emplearse la media ponderada.



### Categoría de Usabilidad

Indica la magnitud en que la infraestructura de la NP y sus servicios puede ser utilizada para alcanzar sus metas con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado. La Fórmula 65<sup>73</sup> indica su valor numérico en función de la evaluación de sus atributos.

$$Usabilidad = \frac{\sum_{i=1}^n Atributo_i}{n} \quad (65)$$

En donde:

Atributo<sub>i</sub>: es la evaluación final otorgada a los atributos de la categoría de usabilidad: eficiencia de uso, efectividad y satisfacción de la entidad.

n: número de atributos total.

La Usabilidad se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < Usabilidad * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < Usabilidad * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $Usabilidad * 100\% \leq 80\%$ .

### Atributo de Eficiencia de Uso

Indica los esfuerzos y recursos relacionados con el tiempo de preparación de los usuarios y personal de TI dedicados a obtener los resultados deseados. Se propone su evaluación sea en función de la “Eficiencia de Uso de los diferentes Subsistemas de la infraestructura de la NP (EUNP)” como indica la Fórmula 66, o su versión ponderada la Fórmula 67<sup>74</sup>:

---

<sup>73</sup> De igual forma puede emplearse la media ponderada.

<sup>74</sup> En caso de que se le quiera brindar más peso a un subsistema que a otro.

$$EU_{NP} = \frac{\sum_{k=1}^n EU_k}{n} \quad (66)$$

$$EU_{NP} = \frac{\sum_i^n w_i * EU_{ki}}{\sum_i^n w_i} \quad (67)$$

En donde, métricas secundarias:

$EU_k$ : eficiencia de uso del subsistema k.

k: se corresponde con el del subsistema: plataforma de virtualización, sistema de almacenamiento, red intra-nube y CMP.

#### Atributo de Efectividad

Indica el grado de funcionalidad ofrecido por la infraestructura de la NP y sus servicios para lograr la ejecución exitosa de las tareas y funciones de los CSU y de los administradores de TI. Se propone su evaluación sea en función de la “efectividad de los diferentes Subsistemas de la infraestructura de la NP ( $E_{NP}$ )” como indica la Fórmula 68, o su versión ponderada la Fórmula 69<sup>75</sup>:

$$E_{NP} = \frac{\sum_{k=1}^n E_k}{n} \quad (68)$$

$$E_{NP} = \frac{\sum_i^n w_i * E_{ki}}{\sum_i^n w_i} \quad (69)$$

En donde, métricas secundarias:

$E_k$ : eficiencia de uso del subsistema k.

k: se corresponde con el del subsistema: plataforma de virtualización, SA, red intra-nube y CMP.

---

<sup>75</sup> En caso de que se le quiera brindar más peso a un subsistema que a otro.

### Atributo de Satisfacción del Usuario

Indica el grado de satisfacción de los CSU y de los administradores de TI con los resultados obtenidos con la infraestructura de la NP y los sus servicios. Se propone su evaluación sea en función del “Grado de Satisfacción de los diferentes Subsistemas de la infraestructura de la NP ( $GS_{NP}$ )” como indica la Fórmula 70, o su versión ponderada la Fórmula 71<sup>76</sup>:

$$GS_{NP} = \frac{\sum_{k=1}^n GS_k}{n} \quad (70)$$

$$GS_{NP} = \frac{\sum_i^n w_i * GS_{k_i}}{\sum_i^n w_i} \quad (71)$$

En donde, métricas secundarias:

$GS_k$ : eficiencia de uso del subsistema k.

k: se corresponde con el del subsistema: plataforma de virtualización, sistema de almacenamiento, red intra-nube y CMP.

### Categoría de Robustez

Indica los índices de consolidación y soporte de las tecnologías que conforman la infraestructura de la NP. Se encuentra compuesta por los atributos: consolidación de las soluciones, y documentación y tipos de soporte técnico. La Fórmula 72<sup>77</sup> indica su valor numérico en función de la evaluación de sus atributos.

$$Robustez_{NP} = \frac{\sum_{i=1}^n Atributo_i}{n} \quad (72)$$

En donde:

---

<sup>76</sup> En caso de que se le quiera brindar más peso a un subsistema que a otro.

<sup>77</sup> Puede ser empleado su versión ponderada.

Atributo<sub>i</sub>: es la evaluación final otorgada a los atributos de la categoría de robustez de la infraestructura de la NP: consolidación de las soluciones, y documentación y tipos de soporte técnico.

n: número de atributos total.

La Robustez<sub>NP</sub> se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $90\% < \text{Robustez}_{NP} * 100\% \leq 100\%$ .
- Regular: si  $80\% < \text{Robustez}_{NP} * 100\% \leq 90\%$ .
- Mal: si  $\text{Robustez}_{NP} * 100\% \leq 80\%$ .

#### Consolidación de las soluciones

Indica el grado de aceptación y penetración en el mercado de las soluciones que componen a la infraestructura de la NP, así como su estabilidad en el soporte durante el ciclo de vida de la NP. Se propone como métrica primaria el “Índice de Consolidación de las Soluciones de la NP (ICS<sub>NP</sub>)” como indica la Fórmula 73, o su versión ponderada la Fórmula 74<sup>78</sup>:

$$ICS_{NP} = \frac{\sum_{k=1}^n ICS_k}{n} \quad (73)$$

$$ICS_{NP} = \frac{\sum_i^n w_i * ICS_{ki}}{\sum_i^n w_i} \quad (74)$$

En donde, métricas secundarias:

ICS<sub>k</sub>: Índice de Consolidación de las Soluciones del subsistema k.

k: se corresponde con el del subsistema: recursos de cómputo, plataforma de virtualización, sistema de almacenamiento, red intra-nube y CMP.

---

<sup>78</sup> En caso de que se le quiera brindar más peso a un subsistema que a otro.

## Documentación y tipos de soporte técnico

Brinda una medida de la organización, el respaldo y el soporte técnico que brindan las diferentes soluciones de HW y SW que componen la infraestructura de la NP. Se propone como métrica primaria el “Indicador de Soporte Técnico de la NP ( $IST_{NP}$ )” como indica la Fórmula 75, o su versión ponderada la Fórmula 76<sup>79</sup>:

$$IST_{NP} = \frac{\sum_{k=1}^n IST_k}{n} \quad (75)$$

$$IST_{NP} = \frac{\sum_i^n w_i * IST_{k_i}}{\sum_i^n w_i} \quad (76)$$

En donde, métricas secundarias:

$IST_k$ : Indicador de Soporte Técnico del subsistema k.

k: se corresponde con el del subsistema: recursos de cómputo, plataforma de virtualización, SA, red intra-nube y CMP.

## Categoría de Factibilidad Económica

Indica la viabilidad económica del proyecto de diseño de la NP evaluando en qué magnitud los beneficios obtenidos con la ejecución del proyecto superan los costos y gastos en que se incurren para su ejecución. La “Factibilidad Económica de la NP ( $FE_{NP}$ )” se expresa mediante la Fórmula 77<sup>80</sup>, en función de la evaluación de sus atributos.

$$FE_{NP} = \frac{\sum_{i=1}^n Atributo_i}{n} \quad (77)$$

En donde:

---

<sup>79</sup> En caso de que se le quiera brindar más peso a un subsistema que a otro.

<sup>80</sup> Puede ser empleado su versión ponderada.

Atributo<sub>i</sub>: es la evaluación final otorgada a los atributos de la categoría de factibilidad económica de la infraestructura de la NP: Valor Actual Neto (VAN), Retorno de la Inversión (ROI<sup>81</sup>) y Costo Total de la Propiedad (TCO<sup>82</sup>).

n: número de atributos total.

La FE<sub>NP</sub> se evaluará de Excelente (E), Bien (B) o Mal (M) en función del rango en que se encuentre el resultado:

- Excelente: si  $FE_{NP} * 100\% = 100\%$ .
- Muy bien: si  $75\% \leq FE_{NP} * 100\% < 100\%$ .
- Bien: si  $50\% \leq FE_{NP} * 100\% < 75\%$ .
- Regular: si  $25\% \leq FE_{NP} * 100\% < 50\%$ .
- Mal:  $FE_{NP} * 100\% < 25\%$ .

Atributo de Valor Actual Neto (VAN) [15], [16], [1]

El VAN mide en dinero corriente el grado de mayor riqueza que se tendrá en el futuro si se emprende el proyecto. Se define como el valor actualizado del flujo de ingresos netos obtenidos durante la vida útil económica del proyecto a partir de la determinación por año de las entradas y salidas en efectivo, desde que se incurre en el primer gasto de inversión durante el proceso inversionista hasta que concluyen los años de operación o funcionamiento de la inversión. La Fórmula 78 muestra su expresión matemática, y la Tabla 19 indica las decisiones a tomar en consecuencia de los valores que tome el VAN.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (78)$$

En donde:

---

<sup>81</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Return On Investment.

<sup>82</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Total Cost of Ownership.

$B_t$ : beneficios en cada uno de los períodos  $t$ .

$C_t$ : costos en cada uno de los períodos  $t$ .

$r$ : tasa de descuento.

$t$ : número de período específico.

$I_0$ : inversión inicial.

$n$ : número total de periodos, el que debe ser tres, dado que se considera que el ciclo de vida de un CD es de tres años.

Tabla 19. Interpretación del valor de la métrica VAN

Valor	Significado	Decisión a tomar	Peso en la evaluación integral de la NP
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida ( $r$ ).	El proyecto puede aceptarse.	1
$VAN < 0$	La inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida ( $r$ ).	El proyecto debería rechazarse.	0
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas.	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida ( $r$ ), la decisión debería basarse en otros criterios, como su impacto social.	Si el proyecto es rechazado: 0; de lo contrario 0,50.

Atributo de Retorno de la Inversión (ROI) [3], [18], [1], [16]

El ROI indica la rentabilidad de la inversión, revelando cuántas veces supera la ganancia a los costos, incluyendo el desembolso original y los gastos en que se incurran en el período de operación. La Fórmula 79 indica la expresión matemática del ROI.

$$ROI = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{C_t} \quad (79)$$

En donde:

$B_t$ : beneficios en cada uno de los períodos  $t$ .

$C_t$ : costos en cada uno de los períodos  $t$ .

$t$ : número de período específico.

$n$ : número total de periodos, el que debe ser tres, dado que se considera que el ciclo de vida de un CD es de tres años.

En la medida que ROI es más alto significa que la inversión ha sido satisfactoria y además el valor indica cuántas veces supera la ganancia a la inversión. La entidad cliente debe evaluar el resultado como:

Excelente: ____	Muy bueno: ____	Bueno: ____	Regular: ____	Malo: ____
(1)	(0,75)	(0,50)	(0,25)	(0)

Atributo de Costo Total de la Propiedad (TCO) [18],[1], [16]

El TCO indica el impacto financiero al desplegar el proyecto a lo largo de su ciclo de vida, tres años. La Fórmula 80 indica la expresión matemática del ROI.

$$CTP = I_0 + \sum_{t=1}^n CD_t + CI_t + CR_t \quad (80)$$

En donde:

$CD_t$ : costos directos en cada uno de los períodos  $t$ .

$CI_t$ : costos indirectos en cada uno de los períodos  $t$ .

$CR_t$ : costos recurrentes en cada uno de los períodos  $t$ .

$t$ : número de período específico.

$I_0$ : inversión inicial.

$n$ : número total de periodos, el que debe ser tres, dado que se considera que el ciclo de vida de un CD es de tres años.

Mientras más pequeño su valor, mejor. La entidad cliente debe evaluar el resultado como:

Excelente: ____	Muy bueno: ____	Bueno: ____	Regular: ____	Malo: ____
(1)	(0,75)	(0,50)	(0,25)	(0)



## Pasos para el cálculo de los atributos

La evaluación económica financiera mide en qué magnitud los beneficios obtenidos con la ejecución del proyecto superan los costos y gastos en que se incurren. Los resultados de esta evaluación indicarán la rentabilidad del proyecto, así como sus aportes a la economía de la entidad. Se proponen los siguientes siete pasos para ejecutar un Análisis de Costo Beneficio (ACB) del proyecto de diseño de una NP:

- Identificar todos los gastos, directos e indirectos, y todos los beneficios, cuantitativos y cualitativos, en los que incurre el proyecto de NP obtenido. Ejemplos de gastos son:

Los costos totales de inversión. Estos abarcan todos los costos desde el inicio de la ejecución del diseño, hasta la puesta en marcha de la NP. Incluyen los gastos como por ejemplo del equipamiento y softwares a adquirir, de la construcción de la infraestructura, de la consultoría, la capacitación y adiestramiento al personal TIC de la entidad, las pruebas y certificaciones del proyecto, y de imprevistos.

Los costos de producción total anual. Consideran todos aquellos costos en que es necesario incurrir de forma continua en el proceso productivo para lograr brindar los servicios proyectados con los niveles de QoS esperados. Los directos incluyen los que están directamente vinculados al funcionamiento de la NP como el pago del consumo de la energía eléctrica, la reposición de HW, cursos de capacitación y el salario de los especialistas de las TIC. Los indirectos abarcan los gastos de los recursos que no tributan directamente a la producción, pero sí la facilitan, como por ejemplo el salario de los directivos de las TIC y los de mantenimiento a los recursos facilitadores.

- Determinar las unidades monetarias en las que se realizará el análisis.
- Realizar la conversión de los costos y/o beneficios cualitativos a variables cuantitativas; para ellos existen diferentes mecanismos los cuales pueden ser consultados en [19] y [20].
- Especificar el período de vida útil en el cual se realizará el análisis costo-beneficio, tres años, así como la tasa de actualización.
- Calcular los atributos: VAN, ROI y CTP, emitir una evaluación de estos.
- Realizar un análisis de sensibilidad [17] [18] [19].
- Evaluar el diseño como factible o no factible.
- Calcular el  $FE_{NP}$ , el que debe adquirir un valor de 0 si:  $VAN < 0$  o el proyecto es declarado no factible.

## Dimensión de Seguridad

Indica la efectividad de los controles de seguridad implementados en la infraestructura de la NP. Sus atributos son: [21], [22]

- Confidencialidad: Propiedad de que la información no esté disponible, o sea, divulgada a personas, entidades o procesos no autorizados [23, p. 2016], [24].
- Privacidad: Propiedad de garantizar la confidencialidad de la información de identificación personal [23, p. 2016], [24].
- Integridad: Propiedad de preservar la información, un Sistema de Información (SI) o un componente de un sistema, de ser modificado o destruido de manera no autorizada [23, p. 2016], [24].
- Disponibilidad: Propiedad de ser accesible y utilizable bajo demanda, a petición de una entidad autorizada [23, p. 2016], [24].

- No repudio: Propiedad de probar la ocurrencia de un evento y sus entidades originadoras [23, p. 2016], [24].

### Diagnósticos de seguridad para NP

Para evaluar la seguridad en una NP o CD virtualizado se propone un procedimiento elaborado a partir del análisis de la norma ISO/IEC 27007:2017<sup>83</sup>, y de las guías del NIST SP 800-115<sup>84</sup> y 800-53A Rev.4<sup>85</sup>. El procedimiento, mostrado en la Figura 18, comprende tres etapas dentro de las cuales se deben ejecutar un conjunto de tareas.

La Figura 19 muestra el conjunto de pruebas a ejecutar para evaluar la seguridad de una NP. En la mayoría de los casos estos diagnósticos serán únicos en su diseño, ya que están en dependencia de la organización y su contexto. Las pruebas propuestas en el presente trabajo se centran en la comprobación de la seguridad del ambiente propio de la NP o CD virtualizado; por lo que no se abordará la comprobación de la seguridad física ni las pruebas específicas de CD tradicionales. Asimismo, en el caso de las políticas y procedimientos, recursos humanos y las pruebas de penetración, solo se comprobará lo relacionado con la NP o CD virtualizado.

---

<sup>83</sup> Directrices para la Auditoría de Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/67398.html>

<sup>84</sup> Guía Técnica para la Comprobación y Evaluación de la Seguridad de la Información. Informe Técnico. Disponible en: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-115/final>

<sup>85</sup> Evaluación de los Controles de Seguridad y Privacidad en Sistemas de Información Federales y Organizaciones de Estados Unidos. Disponible en: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-53a/rev4/final>

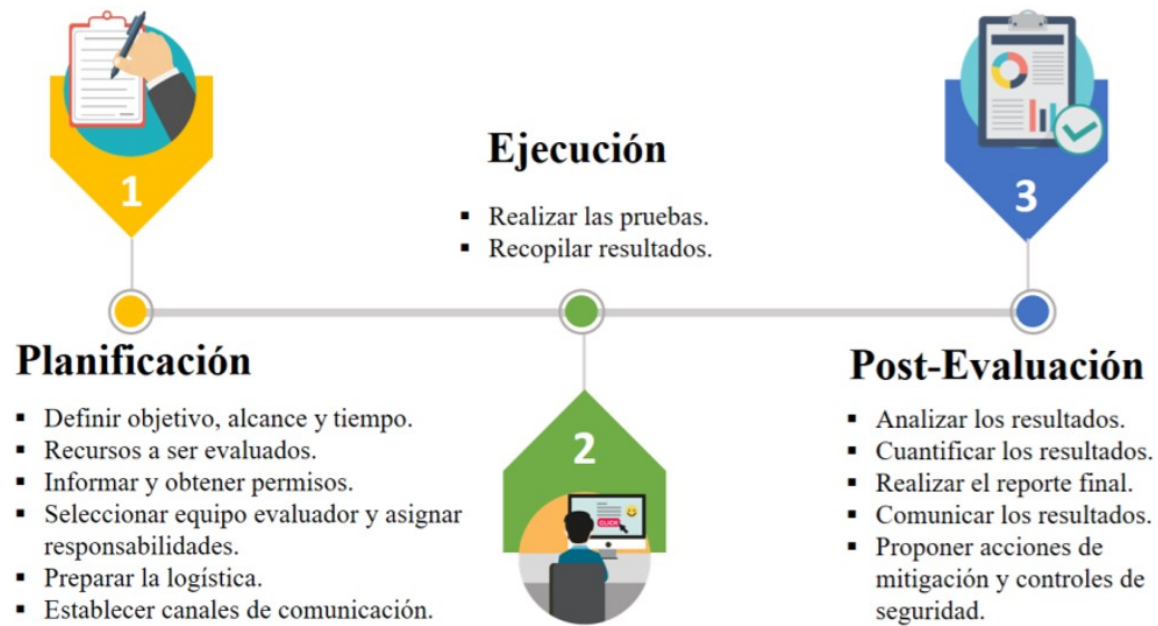


Figura 18. Procedimiento para la realización de las pruebas de seguridad en la NP



Figura 19. Pruebas de seguridad para la NP

Pruebas para evaluar los controles técnicos

*Pruebas específicas al ambiente de virtualización y a la CN*

Escaneo de vulnerabilidades

Título: Escaneo de Vulnerabilidades

Objetivo: Identificar vulnerabilidades en el sistema para gestionar parches de seguridad.

Alcance: Gestor de Nube, plataforma de virtualización y/o base de datos

Tiempo: En función del alcance.

Controles de seguridad a evaluar: Gestión de parches y vulnerabilidades; y fortalecimiento de las IV.

Métricas:

La métrica primaria es el “Índice de Vulnerabilidades (IV)”, cuya expresión matemática la muestra la Fórmula 80:

$$IV = \frac{w_a * Vulnerabilidad_{alta} + w_m * Vulnerabilidad_{media} + w_b * Vulnerabilidad_{baja}}{w_a + w_m + w_b} \quad (80)$$

En donde:

$w_a$ ,  $w_m$  y  $w_b$ : son los pesos para las vulnerabilidades altas, medias y bajas respectivamente. Su valor  $\in [0,1]$ , la autora recomienda:  $w_a=0,45$ ,  $w_m=0,35$  y  $w_b=0,20$ .

$Vulnerabilidad_{alta}$ ,  $Vulnerabilidad_{media}$  y  $Vulnerabilidad_{baja}$ : se corresponden con los márgenes/puntuación de los porcentajes de vulnerabilidades identificadas de alto, medio y bajo riesgo respectivamente. La Tabla 20 muestra los márgenes/puntuación.

Tabla 20. Márgenes/puntuación de los porcentajes de vulnerabilidades

Métricas	Fórmulas	Márgenes/puntuación				
		0	0,25	0,50	0,75	1
% Vulnerabilidades identificadas	(Número de vulnerabilidades de alto riesgo/Total de	$80\% < Va \leq 100\%$	$60\% < Va \leq 80\%$	$40\% < Va \leq 60\%$	$20\% < Va \leq 40\%$	$Va \leq 20\%$

de alto riesgo (Va)	vulnerabilidades escaneadas) *100					
% Vulnerabilidades identificadas de mediano riesgo (Vm)	(Número de vulnerabilidades de mediano riesgo/Total de vulnerabilidades escaneadas) *100	80%<Va≤100 %	60%<Va≤80 %	40%<Va≤60 %	20%<Va≤40 %	Va≤20 %
% Vulnerabilidades identificadas de bajo riesgo (Vb)	(Número de vulnerabilidades de bajo riesgo/Total de vulnerabilidades escaneadas) *100	80%<Va≤100 %	60%<Va≤80 %	40%<Va≤60 %	20%<Va≤40 %	Va≤20 %

Técnicas: análisis de vulnerabilidad y escaneo de la red.

Clasificación según punto de vista: internas y abiertas

Herramientas: Kali Linux - OpenVAS

Número de iteraciones: Una

Descripción de las pruebas:

- 1- Verificar que en la distribución de Kali Linux a emplear OpenVAS. De no estarlo se hace necesaria su instalación en Kali Linux. Para la instalación de OpenVas se deben seguir las siguientes pautas:
  - a. Revisar la configuración del archivo `sources.list` para garantizar que estén los repositorios mediante el comando **nano /etc/apt/sources.list**. Aparecerá un archivo en el que deben estar configurados los repositorios de Kali Linux: **deb http://http.kali.org/kali kali-rolling main contrib non-free**.

- b. Actualizar los repositorios mediante los comandos **sudo apt-get update** y **sudo apt-get upgrade**.
  - c. Instalar OpenVAS mediante el comando **sudo apt-get install openvas**.
  - d. Luego configurar a través del comando **openvas-setup**. En este paso la consola generará una contraseña y un usuario que deberá ser copiado para la posterior autenticación.
- 2- Una vez instalada se inicia la herramienta a través Aplicaciones-Kali Linux-Análisis de Vulnerabilidades-openvas. Se abrirá una consola donde aparecerán varios comandos para al final aparecer su interfaz gráfica mediante el navegador web disponible en Kali Linux, a través de la dirección del Protocolo de Internet (IP<sup>86</sup>) <http://127.0.0.1:9392>, mostrando una página como la vista en la Figura 20, solo que como no se ha realizado ningún escaneo aparecerán los datos en cero.



<sup>86</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Internet Protocol.

Figura 20. Captura interfaz web de OpenVAS

- 3- En la interfaz gráfica se deberán introducir los objetivos mediante la opción **configuration-target** ejecutando clic en el botón en forma de estrella para agregar la dirección IP y el puerto a escanear.
- 4- Luego se configuran las tareas mediante la opción **sacans-task** donde se agregan todos los escáneres a realizar y se identifica el tipo de escaneo que se quiere realizar.
- 5- Una vez conforme con las configuraciones se comienzan los escaneos mediante el botón **start**.

Cálculo y agregación de métricas:

- 1- Tabular los resultados de acuerdo a las métricas propuestas en de alto, medio, bajo y otro riesgo, sacando el porcentaje que representan cada una de estas con respecto al total de vulnerabilidades encontradas.
- 2- Listar todas las vulnerabilidades encontradas en cada objeto analizado para presentarlas en el informe final de las pruebas.

#### Comprobación de la encriptación

Título: Comprobación de la encriptación.

Objetivo: Comprobar que los canales de administración de la infraestructura de virtualización y nube son seguros.

Alcance: CMP

Tiempo: corta

Controles a evaluar: Seguridad de la red.

Métricas:



La métrica primaria es el “Índice de Encriptación en Tránsito (IET)”, cuya expresión matemática la muestra la Fórmula 81:

$$IET = \frac{w_p * Portal_{HTTPS} + w_u * Autenticación_u + w_a * Autenticación_a}{w_p + w_u + w_a} \quad (81)$$

En donde:

$w_p$ ,  $w_u$  y  $w_a$ : son los pesos a asignarle a la encriptación en tránsito: empleo del Protocolo Seguro de Transferencia de Hipertexto (HTTPS<sup>87</sup>) en el portal de autoservicio de los usuarios y de gestión de la NP, empleo de SSH para acceder a los servicios tanto usuarios como administradores de la NP respectivamente. Su valor  $\in [0,1]$ , la autora recomienda:  $w_p=0,40$ ,  $w_u=0,25$  y  $w_a=0,35$ .

$Portal_{HTTPS}$ ,  $Autenticación_u$ ,  $Autenticación_a$ : se corresponden con los valores de 1, en caso de que se compruebe que: se encuentra correctamente configurado el protocolo HTTPS en el portal de autoservicio de los usuarios y de gestión de la NP, se emplea correctamente el protocolo Secure Shell (SSH) para acceder a los servicios tanto los usuarios como administradores de la NP respectivamente; de lo contrario 0.

Técnicas: Sniffing de red.

Clasificación según punto de vista: Internas y abiertas

Herramientas: Kali Linux – Wireshark

Descripción de la prueba:

- 1- Primero se deberá abrir la herramienta Wireshark la cual aparece en Kali Linux en la dirección **Programas –Sniffing y Spoffing–Wireshark**.

---

<sup>87</sup> Siglas correspondientes al término en inglés: Hypertext Transfer Protocol Secure.

- 2- Se deberá especificar entonces la interfaz por la que se quiere capturar tráfico, ejecutando clic sobre ella. Una vez especificada la interfaz se empezará a captar el tráfico que pase por esa interfaz.
- 3- Se deberá entonces realizar la autenticación de uno de los administradores, así como de uno de los usuarios. Este procedimiento se repetirá para cada uno de los puntos en los que se debe capturar tráfico.
- 4- Cuando haya satisfacción con la captura realizada se deberá parar la captura mediante el botón rojo que aparece en la barra superior a la izquierda y se deben guardar los registros especificando la ruta de destino.
- 5- Se deberá identificar entre los paquetes los que pertenecen al intercambio entre los dos puntos de la red de interés. Para comprobar el cifrado de los paquetes se debe ejecutar clic sobre estos. En la barra inferior deben aparecer un grupo de caracteres ilegibles, indicando la encriptación del paquete.
- 6- Además, dentro de ese flujo de paquetes se deberá identificar el intercambio de llave del protocolo HTTPS. Para ello se deberá identificar el campo **Key Exchange** en la cabecera del paquete.

Cálculo y agregación de métricas: Una vez comprobados los canales de interés se calcula la métrica “Índice de Encriptación en Tránsito (IET)”.

#### *Prueba de penetración*

La prueba de penetración tiene como objetivo intentar penetrar la seguridad de la NP. La prueba en el presente trabajo actúa sobre el CMP y la plataforma de virtualización.

Consta de cinco fases como muestra la Figura 21. Las fases consisten en:



Figura 21. Fases de una prueba de penetración

- 1- Recopilación de Información: fase en la que se estudia y conoce todo el escenario objeto de estudio. Se debe obtener la información de todos los puertos abiertos presentes en el sistema objetivo de la prueba, así como otros detalles como los sistemas operativos corriendo y las direcciones de Media Access Control (MAC), para así ganar información valiosa y reconocer el área a ser explotada. Es una fase cuya actividad es no invasiva, similar a la actividad estándar de un usuario, pero que constituye la base para el resto de la prueba de penetración por lo que se necesita sea lo más completa posible
- 2- Descubrimiento de Vulnerabilidades: fase de obtención activa de información, donde no se ataca, pero se deben identificar las vulnerabilidades en el sistema objetivo. Esta actividad no se corresponde con un comportamiento estándar de un usuario.
- 3- Explotación: una vez identificadas las vulnerabilidades, en esta fase se intenta su explotación para obtener un punto de apoyo en el sistema objetivo.
- 4- Pivotear y Ex-filtrar: una vez que el punto de apoyo inicial es establecido, se adquieren los privilegios necesarios completar los objetivos del atacante, pivotear dentro de otros sistemas que no eran accesibles antes, y ex-filtrar información sensible de los sistemas.

- 5- Reporte: una vez que la parte activa de la evaluación está completada, debe ser documentada y reportada.

La prueba de penetración tiene que tener como resultado la métrica primaria “Índice de Penetración (IP)”, cuya expresión matemática es mostrada por la Fórmula 82. Las métricas secundarias son obtenidas de los resultados de las pruebas de las Fases 1, 2, 3 y 4.

$$IP = \frac{\text{Puertos abiertos} + \text{Penetración exitosa} + \text{Contraseñas descifradas}}{3} \quad (82)$$

En donde:

Puertos abiertos: resultado de la evaluación final de la prueba de reconocimiento en la Fase 1.

Penetración exitosa: resultado de la evaluación final de la prueba de explotación en la Fase 3.

Contraseñas descifradas: resultado de la evaluación final de la prueba de comprobación de contraseñas en la Fase 4.

#### Pruebas de Reconocimiento

Título de la prueba: Reconocimiento con Nmap.

Objetivo de la prueba: Obtener los puertos abiertos de la NP.

Duración: Relativa a lo que demore el escaneo configurado en Nmap.

Métricas: La Tabla 21 muestra las métricas y los márgenes/puntuación.

Tabla 21. Métricas y márgenes/puntuación de la prueba de reconocimiento

Métricas	Fórmulas	Márgenes/puntuación				
		0	0,25	0,50	0,75	1
% de los puertos abiertos empleados	(Número de puertos abiertos empleados por	Resultado ≤ 20%	20% < Resultado ≤ 40%	40% < Resultado ≤ 60%	60% < Resultado ≤ 80%	80% < Resultado ≤ 100%

por las aplicaciones del sistema	aplicaciones/total de puertos abiertos) *100					
----------------------------------	--	--	--	--	--	--

Técnicas: Identificación de puertos y servicios de red.

Clasificación según punto de vista: Internas y abiertas

Número de iteraciones: una

Herramientas: Kali Linux - Nmap - Zenmap.

Descripción de la prueba:

- 1- Abrir la herramienta Nmap mediante su interfaz gráfica Zenmap. En Kali Linux se encuentra en la dirección **Aplicaciones – Obtención de Información – Zenmap**, mostrando una ventana similar a la que aparece en la Figura 22.

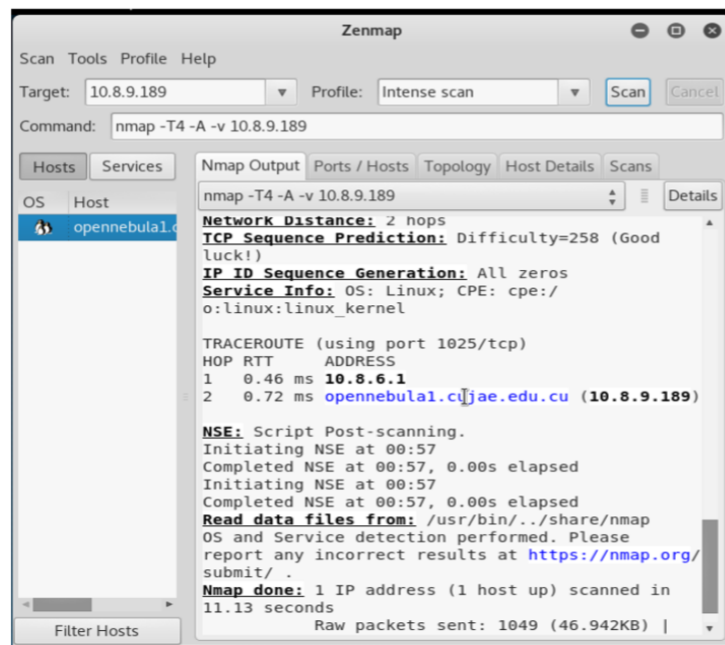


Figura 22. Captura de Zenmap

- 2- Una vez dentro de la herramienta en el **target** se deberá introducir la dirección IP del objetivo que se desea escanear.

- 3- En el campo **profile** se especifica el tipo de escaneo a realizar, en la presente prueba mantener la opción de escaneo intenso, **Intense scan**.
- 4- Una vez satisfecho con los parámetros introducidos se oprime el botón **Scan**. Cuando el escaneo haya terminado aparecerá en la barra de **Hosts** de la izquierda el nombre del destino analizado o su dirección IP. Las salidas del escaneo, **Nmap Output**, se pueden apreciar los campos disponibles tales como: puertos abiertos, protocolos, servicios y versiones, como por ejemplo se puede observar en las Figuras 23 y 24.

Nmap Output					
Ports / Hosts					
Topology					
Host Details					
Scans					
	Port	Protocol	State	Service	Version
✓	22	tcp	open	ssh	OpenSSH 7.2p2 Ubuntu 4ubuntu2.2 (Ubuntu Linux; protocol 2.0)
✓	5030	tcp	open	http	Thin httpd

Figura 23. Captura de puertos abiertos mediante Zenmap



Figura 4. Detalles que ofrece Zenmap

- Para guardar los datos de esta prueba se ejecuta clic en la barra superior, en la opción **Scan**, y se selecciona la opción de guardar, **Save**.

Cálculo y agregación de métricas:

- 1- Analizar los puertos identificados y realizar la tabulación de los resultados.
- 2- Analizar posteriormente los puertos para identificar posibles puertas abiertas a ataques, mediante la correspondencia de estos con los servicios corriendo en los sistemas para comprobar si existen algunos que no estén siendo utilizados.

#### Prueba de explotación

Título de la prueba: Penetración con Metaploits Framework.

Objetivo de la prueba: Comprobar la inmunidad de la red a pruebas de penetración.

Duración: Relativa.

Métricas: Penetración exitosa, de ser positiva adquiere el valor de 0, de ser negativa 1.

Técnicas: pruebas de penetración.

Clasificación según punto de vista: Internas y abiertas

Número de iteraciones: una

Herramientas: Kali Linux - Metasploit Framework Armitage.

Descripción de la prueba:

- 1- Iniciar la base de datos mediante los siguientes comandos:

**service postgresql start**

**service metasploit start**

**service metasploit stop**

- 2- Actualizar Armitage:

**apt-get update**

**apt-get install Armitage**

**update-java-alternatives -jre -s java-1.7.0-openjdk-i386**

**update-java-alternatives -jre -s java-1.7.0-openjdk-amd64**



3- Actualizar Metasploit Framework:

**msfupdate**

**service metasploit start**

**service metasploit stop**

4- Iniciar Armitage:

**service postgres start**

**Armitage**

Aparecerá una ventana en la que se deben poner los siguientes datos:

**host: 127.0.0.1**

**Port: 55553**

**User: msf**

**Pass: test**

Ejectur Click en el botón **Connect** para lanzar Metasploit.

5- Aparecerá una interfaz similar a la mostrada en la Figura 25. Una vez abierto ejecutar  **clic en Hosts-Add hosts**. Se ingresa la dirección IP del objetivo y  **clic en Add**.

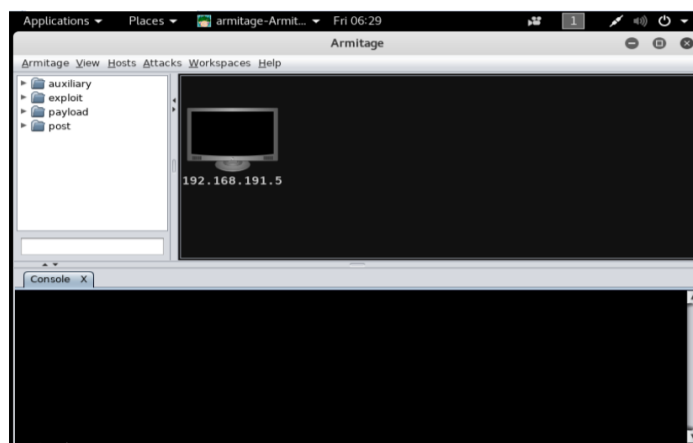
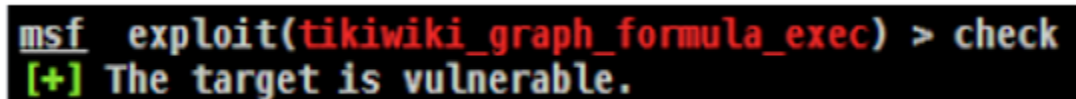


Figura 25. Interfaz de Armitage con objetivo añadido

- 6- Se muestra entonces un ícono de un monitor con una IP, se ejecuta **click** derecho y **click** en **scan** para realizar un escaneo al servidor. El escaneo arrojará los servicios con sus puertos, los puertos abiertos y el sistema operativo instalado.
- 7- Se ejecuta **click** en **attacks-find attacks**, para identificar los posibles ataques a realizar contra el objetivo. Una vez finalizado se notificará por el sistema.
- 8- Finalizado el escaneo de posibles ataques se ejecuta **click** derecho al objetivo y saldrá la lista de todas las posibles vulnerabilidades a explotar, además aparece una opción para probar si el **exploit** sirve con la vulnerabilidad encontrada (**check exploits**). No todos los **exploits** soportan esta opción.
- 9- Posteriormente se ejecuta **click** en **check exploits** para probarlos.
- 10-Si no fuese identificada alguna vulnerabilidad entonces se podrá concluir que el objetivo no puede ser explotado por ninguno de los **exploits** en Metaploit Framework. De lo contrario, las vulnerabilidades explotables se mostrarán en una consola similar a la mostrada en la Figura 26. En este caso se va al objetivo nuevamente y se ejecuta **click derecho > attack**, se busca la vulnerabilidad encontrada y ejecuta **click**. Se abrirá una consola en donde se puede configurar el **exploit**.



```
msf exploit(tikiwiki_graph_formula_exec) > check  
[+] The target is vulnerable.
```

Figura 26. Vulnerabilidad explotable

- 11-Ejecutar **click** en **Launch** para lanzar el **exploit**. Una vez listo el **exploit** dará la opción de abrir un Shell.

12-Una vez obtenido el acceso al objetivo se puede subir un archivo como un backdoor para mantener el acceso al servidor, un troyano o un keylogger.

Cálculo y agregación de métricas: Comprobar si hubo posibilidades de ataque y si fue exitoso.

#### Prueba de comprobación de contraseñas

Título de la prueba: Comprobación de las contraseñas.

Objetivo de la prueba: Comprobar la calidad de las contraseñas utilizadas en la NP.

Duración: Relativa.

Métricas: La Tabla 22 muestra las métricas y los márgenes/puntuación.

Tabla 22. Métricas y márgenes/puntuación de la prueba de las contraseñas

Métricas	Fórmulas	Márgenes/puntuación				
		0	0,25	0,50	0,75	1
% de las contraseñas descifradas	(Contraseñas no descifradas en 15 horas/Total de contraseñas) *100	Resultado ≤ 20%	20% < Resultado ≤ 40%	40% < Resultado ≤ 60%	60% < Resultado ≤ 80%	80% < Resultado ≤ 100%

Técnicas: ataques de contraseñas.

Clasificación según punto de vista: Internas y abiertas

Número de iteraciones: una

Herramientas: Kali Linux - John the Ripper

Descripción de la prueba:

- 1- Se deberá realizar una copia del fichero **/etc/passwd** para trabajar sobre él. En muchos casos las contraseñas, por seguridad, no se almacenan en el archivo **/etc/passwd** ya que tiene permiso de lectura global, por lo que se almacenan en

el archivo **/etc/shadow**, el que solo solo puede ser leído por el usuario root. Se realiza una copia de este también.

- 2- Ahora se ejecuta el comando “**unshadow**” que combinará ambos archivos en uno, que será el que procesará Johnny:

**#unshadow /etc/tmp/passwd /etc/tmp/shadow > /etc/tmp/mypasswd**

- 3- Para comenzar el descifrado se debe ejecutar el comando: **John /etc/tmp/mypasswd**
- 4- La primera etapa lanza el modo sencillo donde se prueban combinaciones de contraseñas relacionadas con el nombre del usuario. La segunda es el ataque de diccionario donde Johnny prueba cada contraseña con palabras que contiene en su diccionario, esta opción permite también utilizar otros diccionarios disponibles en Internet. Por último, aparece el ataque incremental que es el más largo y complejo y puede tomar mucho tiempo, en este Johnny prueba diferentes combinaciones de caracteres en las contraseñas.

Cálculo y agregación de métricas:

- 1- Cuantificar la calidad de las contraseñas que fueron descifradas de acuerdo al tiempo que demoró la herramienta en lograrlo.
- 2- Obtener la métrica propuesta mediante el cálculo del porcentaje del total de contraseñas del sistema que fueron descifradas en un tiempo de 15 horas.

[Generación del Reporte de la prueba de penetración](#)

Una vez terminada la prueba de penetración se utiliza la herramienta KeepNote para generar el reporte final. Siguiendo buenas prácticas se comienza por la creación de carpetas para el diagnóstico, por ejemplo “Prueba 1” y las subcarpetas con las fases del

hacking ético. A pesar de que se coloca como la última de las fases, en realidad se trata de una fase conjunta en la que se va registrando los resultados obtenidos y los hallazgos de tal forma que sea útil generar el reporte final. Los pasos a seguir para ir recopilando todas las pruebas:

- 1- Abrir Keepnote escribiendo **keepnote** en consola o utilizando el menú de Kali:  
**Applications- Kali Linux- Reporting Tools- Documentation- keepnote.**
- 2- Para crear el proyecto ir a **File-> New Notebook**, dirigirse hacia el directorio en el que se desea guardar el proyecto y se escribe en el nombre "Prueba 1" y luego se ejecuta **click** en **new**.
- 3- Crear las carpetas con los nombres de las cuatro fases: Reconocimiento, Escaneo, Explotación, Pivotear, para ello dirigirse a **File-> New Folder**, escribir el nombre de la carpeta y presionar **enter** para finalizar la edición. Repetir el procedimiento para las tres carpetas restantes.
- 4- Ejecutar **click** derecho sobre la carpeta Reconocimiento para añadir el archivo de Nmap que se creó anteriormente, ejecutar **click** en **Attach File** y se localiza la carpeta donde se tiene almacenado el archivo, se la incorpora ejecutando **click** en **Attach**. Realizar el mismo procedimiento para las tres restantes etapas.
- 5- Una vez que se han terminado las pruebas sobre el/los equipos, se importará el archivo en el formato HyperText Markup Language (HTML), para esto, ejecutar **click** en **File-> Export Notebook-> HTML**.
- 6- Ubicarse en la carpeta donde se desea almacenar los resultados y ejecutar **click** en **Export**.

En la ruta donde se guardó el reporte se notará que se cuenta con una carpeta dentro de la que está el archivo “index.html” que es el que se debe abrir para ver todos los datos que fueron registrados.

Pruebas para evaluar los controles no técnicos

*Pruebas para evaluar los Recursos Humanos*

Título: Prueba para evaluar Recursos Humanos de TI

Objetivo: Comprobar el conocimiento de los trabajadores en cuanto a gestión, uso y mantenimiento de la seguridad en una NP o CD virtualizado.

Alcance: Todos los encargados de la gestión.

Tiempo: Una hora.

Controles a Evaluar: Concientización/Formación

Métricas: La Tabla 23 muestra las métricas y los márgenes/puntuación.

Tabla 23. Métricas y márgenes/puntuación de la prueba de recursos humanos

Métricas	Fórmulas	Márgenes/puntuación				
		0	0,25	0,50	0,75	1
% del personal examinado con calificación satisfactoria	(Número de personas que obtuvieron calificación satisfactoria/Total del personal examinado) *100	Resultado ≤ 20%	20%< Resultado ≤40%	40%< Resultado ≤60%	60%< Resultado ≤80%	80%< Resultado ≤100%

Técnicas: Examen de conocimientos

Examen:

### **Prueba de Conocimientos**

1. Marque en cada caso la opción que crea correcta:

a) En la CN las amenazas de seguridad con respecto a los CD tradicionales:

\_\_\_Aumentan    \_\_\_Disminuyen    \_\_\_Son los mismos

b) Las NP con respecto a las demás formas de despliegue como Nube Pública tiene:

☐ Más amenazas de seguridad.

☐ Las mismas amenazas de seguridad.

☐ Menos amenazas de seguridad.

c) En el soporte para IaaS los elementos que los administradores deben considerar en el manejo de seguridad son:

☐ Los sistemas operativos.

☐ Los datos.

☐ El HW.

☐ Las aplicaciones.

☐ Infraestructura virtual.

2. Para el correcto manejo de la seguridad en una entidad que usa una NP, los administradores deben aplicar controles de seguridad. Marque con una x los 4 controles de la siguiente lista que considere críticos y que deberán ser aplicados inmediatamente después que se despliegue la nube:

☐ Seguridad y fortalecimiento de las IV y sistemas operativos.

☐ Autorización del uso de dispositivos móviles para el acceso a servicios corporativos.

☐ Seguridad y fortalecimiento del hipervisor.

☐ Protección de datos sensibles. Criptografía.

☐ Contacto con las autoridades y gestión de incidentes.

☐ Control de SW malicioso.

3. El uso de herramientas para la gestión de seguridad es fundamental pues brindan a los administradores los elementos necesarios para el desarrollo de una correcta gestión. Complete en la Tabla 24 en cada caso con una herramienta que conozca que sea para garantizar la acción que se indica.

Tabla 24. Herramientas para implementar controles de seguridad de tipo Software Libre y Código Abierto (SLCA)

Controles de seguridad	Herramientas
Defensa contra programas malignos.	
Escaneo de puertos y vulnerabilidades.	
AntiSpam	
Gestión de identidad y autenticación	
Cortafuegos virtualizados	
Defensa en redes inalámbricas,	
Monitoreo y registro de <u>logs</u> .	
Detección de intrusos.	

4. La auditoría de seguridad es un elemento fundamental en la gestión de seguridad, de ahí que sea necesario la realización de auditorías frecuentes de acuerdo a las políticas de la organización. Marque con una x los 3 recursos que considera indispensables auditar y que considera típicos, en una NP.

\_\_\_ Plataforma de virtualización.

\_\_\_ CMP.

\_\_\_ Seguridad física del local.

\_\_\_ Instancias virtuales.

\_\_\_ Base de datos.

\_\_\_ Canales de comunicación entre los elementos de la arquitectura.

*Pruebas para evaluar políticas y procedimientos*

Título: Prueba para evaluar políticas y procedimientos



Objetivo: Comprobar la existencia de políticas y procedimientos propios y característicos de los ambientes virtualizados.

Alcance: Todo el sistema desplegado.

Tiempo: Una hora.

Controles a Evaluar: Políticas y procedimientos de seguridad.

Métricas: Existencia y calidad de políticas de seguridad enfocadas a CD virtualizados y/o NP. Se le debe brindar una calificación de: Excelentes (1), Muy buenas (0,75), Buenas (0,50), Regulares (0,25), Malas (0).

La Tabla 23 muestra las métricas y los márgenes/puntuación.

Técnicas: Auditoría

#### Cuantificación de los resultados

El resultado final del diagnóstico se encontrará en función del promedio de las puntuaciones obtenidas en cada prueba aplicada. Una vez obtenido el valor debe identificarse en la Tabla 25 el nivel de seguridad del sistema bajo prueba y las recomendaciones.

Tabla 25. Nivel de seguridad del sistema bajo prueba

Valor numérico	Nivel de seguridad	Recomendación
1	Óptimo	Mantener los controles de seguridad desplegados.
$0,75 \leq \text{valor} < 1$	Seguro	Mantener los controles de seguridad desplegados y optimizar deficiencias.
$0,50 \leq \text{valor} < 0,75$	Medio	Analizar las deficiencias y mitigar rápidamente.
$0,25 \leq \text{valor} < 0,50$	Bajo	Analizar las deficiencias y rediseñar los controles de seguridad insuficientes.
$\text{valor} < 0,25$	Pésimo	Rediseñar totalmente los controles de seguridad.

## Documentación de los resultados del diagnóstico de seguridad

### Reporte Final del Diagnóstico de Seguridad

Fecha inicio pruebas:

Fecha final pruebas:

Entidad evaluada:

Versión:

Resultados: la Tabla 26 muestra una plantilla para documentar los resultados obtenidos.

Tabla 26. Plantilla para mostrar los resultados del diagnóstico de seguridad.

Pruebas Técnicas		
<b>Prueba:</b> Específicas de CD virtualizados y/o NP		
Métricas	Resultado	Puntuación
Índice de Vulnerabilidades		
% Vulnerabilidades identificadas de alto riesgo		
% Vulnerabilidades identificadas de mediano riesgo		
% Vulnerabilidades identificadas de bajo riesgo		
Índice de Encriptación en Tránsito		
<b>Prueba:</b> Prueba de Penetración		
Índice de Penetración		
% de los puertos abiertos empleados por las aplicaciones del sistema		
Penetración exitosa		
% de las contraseñas descifradas		
Pruebas no Técnicas		
<b>Prueba:</b> Recursos Humanos		
Métricas	Resultado	Puntuación
% del personal examinado con calificación satisfactoria		
<b>Prueba:</b> Políticas y Procedimientos		
Métricas	Resultado	Puntuación
Existencia y calidad de políticas de seguridad enfocadas a CD virtualizados y/o NP.		
Nivel de Seguridad		
Señalamientos		
Recomendaciones		

<b>Anexo 1: Vulnerabilidades identificadas / Soluciones</b>
<b>Anexo 2: Comprobación de la encriptación en tránsito / Soluciones</b>
<b>Anexo 3: Prueba de penetración / Soluciones</b>
<b>Anexo 4: Evaluación de conocimientos de los recursos humanos / Soluciones</b>
<b>Anexo 5: Auditoría a las Políticas y Procedimientos de Seguridad / Soluciones</b>

## Indicador de calidad de la NP/CDV

Una vez que se tenga los valores de cada Dimensión debe ser empleado el Indicador de Calidad de la NP/CDV ( $\alpha$ ) o el Indicador de Calidad Ponderado de una NP/CDV ( $\beta$ ) para emitir una evaluación final. De existir prioridades se recomienda calcular  $\alpha$  y  $\beta$  ya que es deseable que  $\alpha < \beta$ , porque indica que los RNF que interesan priorizar en el diseño han tenido mejor cumplimiento que los que no interesa priorizar. Mientras más grande sea la diferencia entre los dos coeficientes más eficiente habrá sido el trabajo ingenieril de los diseñadores. Mientras más cercano sea  $\beta$  a la unidad mejor será el diseño, es decir, cumple con los RNF propuestos.

## Anexos

### Anexo A. Tabla sobre el tipo de energía fuente [12]

Figura A.1. Tabla para la conversión de energía propuesta en la Ley de Ahorro de Energía en Japón [12]

Type of energy source		Consumption			Conversion coefficient (kWh conversion)		Remark
			Unit		Value	Unit	
Fuel and heat	Crude oil	1	kl	=	10,611	kWh	
	Crude oil condensate (NGL)	1	kl	=	9,806	kWh	
	Benzin (gasoline)	1	kl	=	9,611	kWh	
	Naphtha	1	kl	=	9,472	kWh	
	Kerosene	1	kl	=	10,194	kWh	
	Light oil	1	kl	=	10,611	kWh	
	A heavy oil	1	kl	=	10,861	kWh	
	B/C heavy oil	1	kl	=	11,583	kWh	
	Petroleum asphalt	1	t	=	11,639	kWh	
	Petroleum coke	1	t	=	9,889	kWh	
	Petroleum gas	1	t	=	13,944	kWh	
		1	thousands of m3	=	12,472	kWh	
	Combustible natural gas	1	t	=	15,139	kWh	
		1	thousands of m3	=	11,361	kWh	
	Coal	1	t	=	8,028	kWh	
		1	t	=	7,389	kWh	
		1	t	=	7,556	kWh	
	Coal coke	1	t	=	8,361	kWh	
	Coal tar	1	t	=	10,361	kWh	
	Coke-oven gas	1	thousands of m3	=	5,861	kWh	
	Blast furnace gas	1	thousands of m3	=	947	kWh	
	Converter gas	1	thousands of m3	=	2,336	kWh	
	City gas	1	thousands of m3	=	12,500	kWh	Calorific values varies among gas companies
	Industrial steam	1	GJ	=	278	kWh	Use the value shown on the left or measured values
	Other steam	1	GJ	=	278		
	Warm water	1	GJ	=	278		
	Cold water	1	GJ	=	278		
Electricity Electric energy		1	kWh	=	1	kWh	

## Anexo B. Pérdidas de cableado y transformadores según la Ley de Energía en Japón [12]

### ***Pérdida de cableado***

La pérdida de cableado entre el UPS y la PDU difiere en gran medida según el tipo de cableado, la longitud del cableado o el valor actual, y las condiciones de instalación y las especificaciones de UPS y PDU en el centro de datos son varias. Por lo tanto, es difícil especificar uniformemente la pérdida de cableado, no obstante, para calcular fácilmente PUE, se ha determinado la pérdida de cableado según límites de metros de cable como se muestra en la Tabla B.1.

Tabla B.1. Pérdida de cableado entre UPS y PDU [12]

Wiring length	Wiring loss
60m or less	2%
120m or less	3%
More than 120m	4%

Además, la caída de tensión en el caso de que la longitud del cableado sea de 60m o más se describe en la Tabla B.2 basada en la disposición de cableado interior 1301-1.

Tabla B.2. Caída de tensión cuando la longitud de la línea es superior a 60m [12]

Wiring length	Pressure drop
120m or less	5% or less
200m or less	6% or less
More than 200m	7% or less

### ***Pérdida de conversión del transformador de baja tensión***

La pérdida de conversión del transformador de bajo tensión depende de varios aspectos como por ejemplo del fabricante y del tipo de transformador. Por lo tanto, es difícil

especificar de manera uniforme la pérdida por conversión, no obstante, para calcular el PUE fácilmente, se ha especificado que la pérdida por conversión es 3 %, y el esquema se describe a continuación.

En la Tabla B.3 se muestra un ejemplo típico de pérdida de conversión de transformador de baja tensión.

Tabla B.3. Pérdida de conversión de transformador de baja tensión [12]

Transformer specification			A company	B company	C company	
	Capacity		100kVA	100kVA	250kVA	
	Input voltage		3 $\phi$ 210V	3 $\phi$ 210V	3 $\phi$ 415V	
	Output voltage		1 $\phi$ 210-150V	1 $\phi$ 210-150V	1 $\phi$ 210-150V	1 $\phi$ 210-150V
Transformer efficiency (%)	Load factor	10%	95.07	95.5	-	-
		20%	97.22	97.4	-	-
		30%	97.84	98	-	-
		40%	98.68	98.2	98.18	98.02
		50%	98.13	98.3	98.09	97.9
		60%	98.12	98.3	97.95	97.72
		70%	98.06	98.2	97.77	97.51
		80%	97.97	98.1	97.59	97.28
		90%	97.86	98.1	97.38	97.05
		100%	97.74	98	97.17	96.8
Remark			Mold transformer	Mold transformer	K-factor transformer Transformer efficiency at K = 13	

※ Difieren según las condiciones de instalación y especificación.

De este modo, la eficiencia de conversión es superior al 97% si el factor de carga es del 20% o más, y es 98% más o menos si el factor de carga es 50%. Por lo tanto, se estima que la pérdida de conversión del transformador de bajo tensión es del 3%.

#### Anexo C. Tabla para el registro del PUE [12]

La Tabla C.1 mostrada a continuación está basada en el procedimiento de registro de evaluaciones mostrado en [25] y sirve para registrar la medición del PUE.

Tabla C.1. Tabla para registrar la medición del PUE [13]

Registro de la medición del PUE
---------------------------------

Fecha de la medición	Hora de inicio	Período de la medición (h)	
Capacidad nominal de carga total del CD (kW)	carga informática actual del CD en %	Humedad exterior	
		Temperatura exterior	
Niveles de redundancia del CD	Sistema de eliminación del calor ( <u>dry cooler</u> , torre de refrigeración, aire libre, planta de agua helada [ <u>chiller</u> ])		
Tipo de Economizador instalado (si existiera)	Estado del economizador en el momento de la medición (activado, desactivado)		
Medición del consumo de Dispositivos de TI			
Punto de medición 1	Equipos de medición utilizado	valor de la medición	Pérdidas a tener en cuenta
Punto de medición 2	Equipos de medición utilizado	valor de la medición	Pérdidas a tener en cuenta
Punto de medición 3	Equipos de medición utilizado	valor de la medición	Pérdidas a tener en cuenta
Punto de medición 4	Equipos de medición utilizado	valor de la medición	Pérdidas a tener en cuenta
VALORES TOTALES			
CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA DE DISPOSITIVOS DE TI			
Medición del consumo del CD			
Tipos de fuente de energía en el CD que se utilizan en el momento de la medición (energía comercial, generación de energías renovables, generación interna, generación de emergencia, <u>boiler</u> y otras fuentes de calor, aire acondicionado regional)			
Punto de medición 1	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
Punto de medición 2	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
Punto de medición 3	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
Punto de medición 4	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA DEL CD			
Ejemplo de muestra para el cálculo del PUE			
Máximo error de medición de los equipos utilizados: $\pm 0.2\%$			
Consumo total de energía del CD (kWh): 100			
Consumo total de energía de Dispositivos de TI (kWh): 50			
Error	Consumo total del CD (kWh)	Consumo de dispositivos de TI (kWh)	PUE
$\pm 0.2\%$	100.2	49.9	2.01
	99.8	50.1	1.99
Calculando el PUE			
Máximo error de medición de los equipos utilizados:			
Consumo total del CD (kWh):			
Consumo total de Dispositivos de TI (kWh):			
Error	Consumo total del CD (kWh)	Consumo de dispositivos de TI (kWh)	PUE



#### Anexo D. Definiciones de ACPI [12]

Las especificaciones de ACPI deben aplicarse a sistemas Linux o Unix, para los cuales no se establecen definiciones:

- S0: encendido
- S1: modo de suspensión o espera. El sistema cambia al modo de ahorro de energía suspendiendo las funciones de procesamiento del sistema, como las interrupciones, mientras que la CPU mantiene el dispositivo y registra el contexto y el contexto de la memoria caché. Solo unas pocas operaciones se llevan a cabo durante el tiempo como eventos de administración de energía. El sistema puede reanudarse sin problemas.
- S2: Igual que S1, excepto que Suspende la CPU y la memoria del sistema pierde el contexto de la memoria caché.
- S3: modo de suspensión, también llamado "Suspende a RAM". El contexto de registro y todos los demás, excepto la memoria del sistema, se pierden. Antes de ingresar **suspend-to-RAM**, el sistema operativo escribe el contexto de registro en la memoria y coloca el vector de recuperación en un lugar determinado en FACS. La restauración se realiza desde el estado de reinicio. El sistema finalmente vuelve al estado de operación al reescribir el registro.
- S4: Hibernación, también llamada "Suspende en disco". Los contenidos de la memoria se escriben en el disco antes de perderse, en un estado equivalente a



una desconexión. El gestor de arranque o el SO detecta la presencia de contenido de hibernación y reescribe los contenidos de la memoria.

- S5: **Soft Off**. Se proporciona una cantidad mínima de electricidad en un estado equivalente a un apagado. La recuperación se realiza reiniciando. El corte total de la fuente de alimentación se denomina "**G3: Mechanical Off**".

#### Anexo E. Tabla para el registro del ITEU [12]

La Tabla E.1. mostrada a continuación está basada en el procedimiento de registro de evaluaciones mostrado en [13] y sirve para registrar la medición del ITEU.

Tabla E.1. Tabla para registrar la medición del ITEU [13]

Registro de la medición del ITEU			
Fecha de la medición	Hora de inicio	Período de la medición (h)	
Capacidad nominal de carga total del CD (kW)	carga informática actual del CD en %	Humedad exterior	
		Temperatura exterior	
Medición del consumo real de Dispositivos de TI			
Punto de medición 1	Equipos de medición utilizado	valor de la medición	Pérdidas a tener en cuenta
Punto de medición 2	Equipos de medición utilizado	valor de la medición	Pérdidas a tener en cuenta
Punto de medición 3	Equipos de medición utilizado	valor de la medición	Pérdidas a tener en cuenta
Punto de medición 4	Equipos de medición utilizado	valor de la medición	Pérdidas a tener en cuenta
VALORES TOTALES			
CONSUMO REAL DE ENERGÍA DE DISPOSITIVOS DE TI (kWh)			
Obtención del consumo nominal de energía total de Dispositivos de TI			

Tipos de servidores utilizados	Cantidad de Servidores utilizados (incluir los apagados y en suspensión pero que se utilicen)	Período de medición (h)	Potencia nominal de servidores (kW)	Consumo nominal de energía de servidores (kWh)
Energía nominal de servidores (kWh)				
Tipos de servidores utilizados	Cantidad de Servidores utilizados que en el día puedan estar en estado de suspensión	Cantidad de horas del día en suspensión (h)	Potencia nominal de servidores (kW)	Energía nominal de servidores ahorrada (kWh)
Energía nominal total de servidores ahorrada (kWh)				
#1- Consumo nominal de energía de servidores (kWh)		#2- Energía nominal de servidores ahorrada (kWh)		Energía nominal total de servidores (kWh) (#1 - #2)
Tipos de equipos de red utilizados	Cantidad de equipos de red	Período de medición (h)	Potencia nominal de equipos (kW)	Consumo nominal de energía de equipos de red (kWh)
Consumo nominal total de equipos de red (kWh)				
Tipos de equipos de almacenamiento utilizados	Cantidad de equipos de almacenamiento	Período de medición (h)	Potencia nominal de equipos (kW)	Consumo nominal de energía de equipos de almacenamiento (kWh)
Consumo nominal total de equipos de almacenamiento (kWh)				
Energía nominal total de servidores (kWh)				
Consumo nominal total de equipos de red (kWh)				
Consumo nominal total de equipos de almacenamiento (kWh)				

CONSUMO NOMINAL TOTAL DE ENERGÍA DE DISPOSITIVOS DE TI (kWh)			
Ejemplo de muestra para el cálculo del ITEU			
Máximo error de medición de los equipos utilizados: $\pm 0.2\%$ Consumo real de energía de dispositivos de (kWh): 50 Consumo nominal total de energía de dispositivos de TI (kWh): 100			
Error	Consumo real de energía de dispositivos de (kWh)	Consumo nominal total de energía de dispositivos de TI (kWh)	ITEU
$\pm 0.2\%$	50.1 49.9	100 100	0.51 o 50.1% 0.499 o 49.9%
Calculando el ITEU			
Máximo error de medición de los equipos utilizados: $\pm 0.2\%$ Consumo real de energía de Dispositivos de TI(kWh): 100 Consumo nominal total de energía de Dispositivos de TI (kWh): 50			
Error	Consumo real de energía de dispositivos de (kWh)	Consumo nominal total de energía de dispositivos de TI (kWh)	ITEU

#### Anexo F. Tabla para el registro del ITEE [12]

La Tabla F.1 mostrada a continuación está basada en el procedimiento de registro de evaluaciones mostrado en [13] y sirve para registrar el cálculo del ITEE.

Tabla F.1. Tabla para el registro del cálculo del ITEE [13]

Registro de la medición del ITEE					
Fecha del cálculo	Hora de inicio	*Válido hasta que ocurra alguna modificación en el CD que pueda afectar el valor calculado. De ser así es necesario recalcular el valor del ITEE.			
Cálculo de la capacidad nominal total de Dispositivos de TI					
Tipos de servidores utilizados	Potencias nominales de los distintos tipos de servidores (W)  #1	Eficiencia energética a según el tipo de servidor (W/GFLOPS)  #2	Capacidad nominal de los tipos de servidores (GFLOPS)  #3=#1 ÷ #2	Número inverso de eficiencia energética estándar para servidores $\alpha = 7.72$ (W/GFLOPS)  #4	Capacidad nominal de los tipos de servidores (W)  #5=#3 x #4

Tipos de servidores utilizados	Capacidad nominal de los tipos de servidores (W) #5	Cantidad de servidores según el tipo #6	Capacidad nominal de servidores por tipo en el CD (W)  #5 x #6		
Capacidad nominal total de servidores (W)					
Tipos de unidades de almacenamiento utilizadas	Potencias nominales de los distintos tipos de unidades de almacenamiento (W) #1	Eficiencia energética según el tipo de unidad de almacenamiento (W/ Gbyte) #2	Capacidad nominal de los tipos de unidades de almacenamiento (Gbyte) #3=#1 ÷ #2	Número inverso de eficiencia energética estándar para unidades de almacenamiento B=0.0933 (W/Gbyte) #4	Capacidad nominal de los tipos de unidades de almacenamiento (W) #5=#3 x #4
Tipos de unidades de almacenamiento utilizadas	Capacidad nominal de los tipos de unidades de almacenamiento (W) #5	Cantidad de unidades de almacenamiento según el tipo #6	Capacidad nominal de unidades de almacenamiento por tipo en el CD (W)  #5 x #6		
Capacidad nominal total de unidades de almacenamiento (W)					
Tipos de equipos de red utilizados	Capacidad para velocidades de 10 Mbps según el tipo de equipo de red (Gbps) #1 = #puert x veloc	Capacidad para velocidades de 100 Mbps según el tipo de equipo de red (Gbps) #2 = #puert x veloc	Capacidad para velocidades de 1 Gbps según el tipo de equipo de red (Gbps) #3 = #puert x veloc	Capacidad para velocidades de 10 Gbps según el tipo de equipo de red (Gbps) #4 = #puert x veloc	Capacidad nominal de los tipos de equipos de red (Gbps) #5 = #1 + #2 + #3 + #4

Tipos de equipos de red utilizados	Capacidad nominal de los tipos de equipos de red (Gbps) #5	Cantidad de equipos de red según el tipo #6	Número inverso de eficiencia energética estándar para equipos de red $B=0.0933$ (W/Gbyte) #7	Capacidad nominal de equipos de red por tipo en el CD (W) #5 x #6 x #7
Capacidad nominal total de equipos de red (W)				
Capacidad nominal total de servidores (W)				
Capacidad nominal total de unidades de almacenamiento (W)				
Capacidad nominal total de equipos de red (W)				
CAPACIDAD NOMINAL TOTAL DE DISPOSITIVOS DE TI (W)				
Cálculo de la potencia nominal total de Dispositivos de TI				
Tipos de servidores utilizados	Cantidad de servidores según el tipo	Potencia nominal de servidores (W)	Potencia nominal de servidores según el tipo (W)	
Potencia nominal total de servidores (W)				
Tipos de unidades de almacenamiento utilizadas	Cantidad de unidades de almacenamiento según el tipo	Potencia nominal de unidades de almacenamiento (W)	Potencia nominal de unidades de almacenamiento según el tipo (W)	
Potencia nominal total de unidades de almacenamiento (W)				
Tipos de equipos de red utilizados	Cantidad de equipos de red según el tipo	Potencia nominal de equipos de red (W)	Potencia nominal de equipos de red según el tipo (W)	

Potencia nominal total de equipos de red (W)		
Potencia nominal total de servidores (W)		
Potencia nominal total de unidades de almacenamiento (W)		
Potencia nominal total de equipos de red (W)		
POTENCIA NOMINAL TOTAL DE DISPOSITIVOS DE TI (W)		
Calculando el ITEE		
Capacidad nominal total de Dispositivos de TI(kW): Potencia nominal total de Dispositivos de TI (kW):		
Consumo real de energía de dispositivos de (kWh)	Consumo nominal total de energía de dispositivos de TI (kWh)	ITEE

#### Anexo G. Tabla para el registro del GEC [12]

La Tabla G.1 mostrada a continuación está basada en el procedimiento de registro de evaluaciones mostrado en [13] y sirve para registrar el cálculo del GEC.

Tabla G.1. Tabla para el registro del cálculo del GEC [13]

Registro de la medición del GEC		
Fecha de la medición	Hora de inicio	Período de la medición (h)
Capacidad nominal de carga total del CD (kW)	carga informática actual del CD en %	Humedad exterior
		Temperatura exterior
Niveles de redundancia del CD	Sistema de eliminación del calor ( <u>dry cooler</u> , torre de refrigeración, aire libre, planta de agua helada [ <u>chiller</u> ])	
Tipo de Economizador instalado (si existiera)	Estado del economizador en el momento de la medición (activado, desactivado)	
Medición del consumo de energía verde generada y utilizada en las instalaciones del CD		
Punto de medición 1	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición

Punto de medición 2	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
Punto de medición 3	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
Punto de medición 4	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
ENERGÍA VERDE GENERADA Y UTILIZADA EN LAS INSTALACIONES DEL CD (kWh)			
Medición del consumo del CD			
Tipos de fuente de energía en el CD que se utilizan en el momento de la medición (energía comercial, generación de energías renovables, generación interna, generación de emergencia, <u>boiler</u> y otras fuentes de calor, aire acondicionado regional)			
Punto de medición 1	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
Punto de medición 2	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
Punto de medición 3	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
Punto de medición 4	Equipos de medición utilizado	Valor de la medición	
CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA DEL CD			
Ejemplo de muestra para el cálculo del GEC			
Máximo error de medición de los equipos utilizados: ± 0.2% Energía verde generada y utilizada en las instalaciones del CD (kWh): 10 Consumo total de energía del CD (kWh): 100			
Error	Energía verde generada y utilizada en las instalaciones del CD (kWh)	Consumo total del CD (kWh)	GEC
± 0.2%	10.02 9.08	99.8 100.2	0.1004 o 10.04% 0.0996 o 9.96%
Calculando el GEC			
Máximo error de medición de los equipos utilizados: ± 0.2% Energía verde generada y utilizada en las instalaciones del CD (kWh): Consumo total de energía del CD (kWh):			
Error	Energía verde generada y utilizada en las instalaciones del CD (kWh)	Consumo total del CD (kWh)	GEC

#### Anexo H. Tabla para el registro del DPPE [12]

La Tabla H.1 mostrada a continuación está basada en el procedimiento de registro de evaluaciones mostrado en [13] y sirve para registrar el cálculo del DPPE.

Tabla H.1. Tabla para el registro del cálculo del DPPE [13]

Registro de la medición del DPPE		
Fecha de la medición	Hora de inicio	Período de la medición (h)
Capacidad nominal de carga total del CD (kW)	carga informática actual del CD en %	Humedad exterior
		Temperatura exterior
Niveles de redundancia del CD	Sistema de eliminación del calor ( <u>dry cooler</u> , torre de refrigeración, aire libre, planta de agua helada [ <u>chiller</u> ])	
Tipo de Economizador instalado (si existiera)	Estado del economizador en el momento de la medición (activado, desactivado)	
Calculando el DPPE		
DPPE y submétricas	Valores obtenidos	
PUE		
ITEU		
ITEE		
GEC		
DPPE		

## Referencias

- [1] F. Tarrau Prendes, L. R. García Perellada, and Garófalo Hernández, "PROPUESTA DE REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES PARA EL DISEÑO Y EVALUACIÓN DE NUBES PRIVADAS CON SOPORTE PARA INFRAESTRUCTURA COMO SERVICIO," in *18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura.*, Palacio de Convenciones de La Habana, 25/11 2016, pp. 881–895.
- [2] NTT Communications, "White Paper: An Evaluation Framework for Selecting an Enterprise Cloud Provider," p. 19, 2018.
- [3] G. Galante, L. C. E. D. Bona, A. R. Mury, B. Schulze, and R. da R. Righi, "An Analysis of Public Clouds Elasticity in the Execution of Scientific Applications: a Survey," *J. Grid Comput.*, vol. 14, no. 2, pp. 193–216, Jun. 2016, doi: 10.1007/s10723-016-9361-3.
- [4] S. K. R. Reussner and Nikolas Roman Herbst, "Elasticity in Cloud Computing: What It Is, and What It Is Not," presented at the 10th International Conference on Autonomic Computing (ICAC'13), San José, CA, USA, 2013, [Online]. Available: <https://www.usenix.org/conference/icac13/technical-sessions/presentation/herbst>.
- [5] K. Hwang, X. Bai, Y. Shi, M. Li, W. G. Chen, and Y. Wu, "Cloud Performance Modeling with Benchmark Evaluation of Elastic Scaling Strategies," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 27, no. 1, pp. 130–143, Jan. 2016, doi: 10.1109/TPDS.2015.2398438.
- [6] N. Herbst *et al.*, Eds., "Quantifying Cloud Performance and Dependability: Taxonomy, Metric Design, and Emerging Challenges," *ACM Trans Model Perform Eval Comput Syst*, vol. 3, no. 4, p. 19:1–19:36, Aug. 2018, doi: 10.1145/3236332.
- [7] "Cloud computing infrastructure requirements," ITU-T, Switzerland Geneva, Recommendation ITU-T Y.3510 ITU-T Y.3510, 2014.
- [8] Microsoft, "Infrastructure-as-a-Service Product Line Architecture." 2016.



- [9] "Information technology – Cloud computing – Reference architecture," ISO copyright office, Switzerland, ISO/IEC 17789:2014 (E), 10 2014.
- [10] "Information technology – Cloud computing – Reference architecture," ITU-T, Switzerland Geneva, RECOMMENDATION ITU-T Y.3502, Aug. 2014.
- [11] T. Ueoro, "Introduction of Datacenter Performance Per Energy (DPPE)," presented at the Green IT Promotion Council, Feb. 2011.
- [12] "New Data Center Energy Efficiency Evaluation Index DPPE (Datacenter Performance per Energy) Measurement Guidelines (Ver 2.05)," *Green IT Promot. Counc.*, Mar. 2012.
- [13] N. Rasmussen, "Medición de la eficiencia eléctrica para centros de datos." Schneider Electric – Data Center Science Center, 2012, [Online]. Available: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_Doc\\_Ref=SPD\\_NRAN-72754V\\_LS](https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_NRAN-72754V_LS).
- [14] J. Durand, T. Rutt, and F. de Vault, "Cloud Computing Service Metric Templates Primer," National Institute of Standards and Technology, Special Publication 500-xxx, Dec. 2014.
- [15] S. Alismaili, M. Li, and J. Shen, "Cloud Computing Adoption Decision Modelling for SMEs: From the PAPRIKA Perspective," in *Frontier Computing: Theory, Technologies and Applications*, J. C. Hung, N. Y. Yen, and K.-C. Li, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2016, pp. 597–615.
- [16] C. Wu and R. Buyya, *Cloud data centers and cost modeling: a complete guide to planning, designing and building a cloud data center*. Waltham, MA: Morgan Kaufmann, 2015.
- [17] "BASES METODOLÓGICAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD DE LAS INVERSIONES INDUSTRIALES." MINISTERIO DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN DIRECCIÓN DE INVERSIONES, La Habana, Cuba, Aug. 2001.
- [18] M. Kornevs, V. Minkevica, and M. Holm, "Cloud Computing Evaluation Based on Financial Metrics," 2012.
- [19] P. Marešová, "Cost Benefit Analysis Approach for Cloud Computing."
- [20] S. R. Cellini, and J. E. Kee, *Cost-Effectiveness and Cost-Benefit Analysis*. 2010.
- [21] A. F. Bezanilla, L. R. G. Perellada, and A. A. G. Hernández, "Propuesta de controles de seguridad para nubes privadas y centros de datos virtualizados," *Rev. Telemica*, vol. 17, no. 1, pp. 56–72, Nov. 2018.
- [22] A. Fernández Bezanilla, L. R. García Perellada, and A. A. Garófalo, "Gestión de riesgos técnicos en nubes privadas con soporte a la categoría de servicio IaaS," *Tono*, vol. 14, no. 1, pp. 30–40, Jul. 2018.
- [23] 14:00-17:00, "ISO/IEC 27000:2016," *ISO*.  
<https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/06/64/66435.html> (accessed May 30, 2020).
- [24] "Cybersecurity Glossary | National Initiative for Cybersecurity Careers and Studies." <https://niccs.us-cert.gov/about-niccs/cybersecurity-glossary> (accessed May 30, 2020).
- [25] Neil Rasmussen, "Medicion de la eficiencia electrica para Centros de Datos," *Schneider Electr. APC White Pap. 154-V2*, 2012.