

## Modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos

### Reliability, availability and maintainability modeling of the telecommunications and data transmission platform

Cristhian Ronceros Morales<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8421-5217>

<sup>1</sup>Universidad de Oriente, Maturín, Venezuela  
[croncerosm@gmail.com](mailto:croncerosm@gmail.com)



Esta obra está bajo una licencia internacional  
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/02/06

Aceptado: 2022/05/19

Publicado: 2022/06/30

#### Resumen

El objetivo de la presente investigación fue generar un modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos, que permita el cálculo de la disponibilidad y la estimación de la confiabilidad de los conmutadores (switches), enrutadores (Routers), UPS (sistema de alimentación ininterrumpida), puntos de acceso (Access Point), puntos de acceso/puente (Access point/bridge) y equipos de radio enlace. Se tomó como caso de estudio la localidad de Maturín de Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA). El estudio consistió en una investigación de campo, con nivel descriptivo. La población estuvo constituida por ocho (8) trabajadores del área. Para la obtención de información se utilizó los reportes de fallas del centro de monitoreo de oriente (CIMOR) de los últimos dieciocho (18) meses, de los 106 equipos instalados en Maturín. Para el desarrollo del modelado se utilizó la metodología de análisis confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CDM) y el software Raptor 7.0. El modelo propuesto permite realizar los cálculos de disponibilidad y proyecciones de confiabilidad de la plataforma, como requerimiento importante para la realización de planes de mantenimiento y el apoyo en la toma de decisiones para la optimización del funcionamiento operativo de la organización. El modelo propuesto puede ser tomado como ejemplo para las plataformas de telecomunicaciones de cualquiera de las localidades que conforman a PDVSA, sólo realizando un análisis de la configuración y función de los componentes dentro del sistema (Diagrama de bloques de confiabilidad).

**Palabras clave:** Modelado, confiabilidad, disponibilidad, Análisis CDM, simulación.

**Sumario:** Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y Conclusiones.

**Como citar:** Ronceros, C. (2022). Modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 85-104. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/914>

### Abstract

The objective of this research was to generate a model of reliability, availability, and maintainability of the telecommunications and data transmission platform. This model allows the calculation of the availability and estimation of the reliability of the switches (switches), routers (Routers), UPS (uninterruptible power supply), access points (Access Point), access points / bridge (Access point / bridge), and radio link equipment. The location of Maturin de Petroleos de Venezuela S.A. (PDVSA) was taken as a case study. The study consisted of field research with a descriptive level. The population consisted of eight (8) workers in the area. Failure reports of the eastern monitoring center (CIMOR, acronym in Spanish) for the last eighteen (18) months of 106 equipment installed in Maturin were used to collect information. The reliability, availability, and maintainability (CDM) analysis methodology and the Raptor 7.0 software were used to develop the model. This proposed model allows availability calculations and reliability projections of the platform, as an essential requirement for the realization of maintenance plans and support in decision-making for optimizing the organization's operational performance. The proposed model is an example for the telecommunications platforms of any of the locations that make up PDVSA, only by analyzing the configuration and function of the components within the system (reliability block diagram).

**Keywords:** Modeling, reliability, availability, RAM analysis, simulation.

### Introducción

En la actualidad las industrias buscan constantemente optimizar sus operaciones, con la finalidad de que sean seguras y rentables económicamente. Bajo este contexto, surge la confiabilidad como una herramienta útil para la gestión de integridad de activos en instalaciones industriales. Las herramientas de confiabilidad permiten un análisis detallado de las fallas potenciales del sistema, así como su operatividad y tiempos de reparación. Sobre este particular, Birolini (2017) menciona que, la confiabilidad especifica la probabilidad de que no ocurra ninguna interrupción operativa durante un intervalo de tiempo establecido.

Desde el punto de vista de la ingeniería, existen dos elementos para el manejo de cualquier bien físico. Este debe ser mantenido y cada tanto ser modificado. Cuando se mantiene un bien, lo que se busca es preservar un estado en el que siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario, es decir, que el bien o equipo no presente una falla funcional. Moubray (1999), señala que los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario.

Bajo este escenario, se presenta la importancia de conocer la confiabilidad de los equipos electrónicos que conforman una plataforma de telecomunicaciones, los cuales pueden afectar positiva o negativamente la productividad y la seguridad de los procesos y personas en una empresa, razón por la cual han adquirido gran importancia dentro de las industrias petroleras. Al respecto, Gerard, I y Anzures, J. (2001), señalan que los dispositivos electrónicos en la actualidad tienen un mayor auge y dado que los sistemas cada vez son más complejos, por lo que es necesario estudiar la confiabilidad de esos equipos y componentes, con el fin de conocer qué tanto influye cada uno en el funcionamiento global del sistema, para que éste finalmente pueda ser confiable.

En este sentido, se ha considerado realizar un estudio basándose en el análisis probabilístico del tiempo para falla o historial de fallas, aplicando la teoría de confiabilidad de activos reparables para la obtención de la disponibilidad de la red; todo ello a través del cálculo de los parámetros del mantenimiento que nos brinda el análisis de confiabilidad, disponibilidad

y mantenibilidad (CDM). Yañez y otros (2007) definen a un sistema reparable como aquel que acepta reparaciones y sus funciones pueden ser restauradas por cualquier método de reparación sin tener que reemplazar todo el sistema.

El análisis CDM o *RAM* es una técnica que sirve para determinar cuantitativamente la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en un sistema; los indicadores obtenidos a través del análisis *RAM* permiten realizar el análisis del comportamiento de los componentes, subsistemas y sistemas, basándose en su configuración, políticas de mantenimiento, recursos disponibles y filosofía operacional. Sobre este particular, R2M (2015) señala que el análisis *RAM*, combina técnicas de la Ingeniería de Confiabilidad para equipos y sistemas para pronosticar la producción perdida y la indisponibilidad de un proceso de producción, de acuerdo con la configuración del sistema que lo soporta, a la confiabilidad de sus componentes, a las políticas de mantenimiento, el recurso disponible y a la filosofía operacional.

El presente artículo tiene como objetivo generar un modelado de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos tomando como caso de estudio los equipos que conforman la plataforma de telecomunicaciones de la localidad de Maturín de Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA), entre los cuales se encuentran los conmutadores, enrutadores, UPS, puntos de acceso, puntos de acceso/puente. Con el modelado se busca identificar el comportamiento general del sistema, tomando en cuenta la configuración de los equipos, las fallas aleatorias, las reparaciones, las paradas parciales y totales; y el mantenimiento planificado; base importante para las proyecciones de disponibilidad y confiabilidad del sistema, que van a permitir optimizar el funcionamiento del sistema, a través del apoyo en la toma de decisiones relacionadas con los planes de mantenimiento de la plataforma.

El modelo propuesto para la plataforma de telecomunicaciones es un instrumento que permite fortalecer las decisiones dirigidas a cumplir con los planes operativos de la empresa, debido a que se centran en los índices de mantenimiento de los diferentes equipos que conforman la plataforma, ayudando a fortalecer el manejo de datos e información dentro de la empresa y así poder apoyar en la obtención de los objetivos, garantizando la calidad de servicio.

La base fundamental de la propuesta se centra en el cálculo de los: Tiempo Promedio para Fallar (TPPF), Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) y Tiempo Promedio para Reparar (TPPR), que mejor caracterizan los diversos equipos del sistema bajo estudio; estos datos fueron tomados de bancos de datos del centro de monitoreo de oriente (CIMOR), y comprenden reportes de fallas de los últimos 18 meses, de los 106 equipos que conforman la plataforma de comunicaciones de PDVSA en Maturín.

El alcance para el modelo propuesto tiene una significancia relevante para el sector industrial de hidrocarburos. Partiendo de la premisa que cualquier equipo, parte o componente posee una confiabilidad, podemos obtener datos de confiabilidad para cualquier equipo que conforme una plataforma de telecomunicaciones y así, realizar el análisis posterior de acuerdo a la configuración del sistema por medio del diagrama de bloques de confiabilidad.

La metodología descrita en la realización del modelado permite adaptarlo a las diferentes plataformas de telecomunicaciones instaladas a lo largo de las instalaciones y áreas operacionales de PDVSA, las cuales son veintiocho (28) y se extienden por todo el territorio nacional, permitiendo obtener resultados positivos en términos de mantenimiento, resultados financieros (producción, costos de mantenimiento, etc.), ambientales (disminución de impactos negativos) y personales (disminución de fatalidades/accidentes).

## Metodología

El presente trabajo se enmarca en una investigación de campo con un nivel descriptivo, tomando como estudio el comportamiento de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos, al realizar proyecciones del sistema mediante la simulación de un modelo. La población se encuentra constituida por ocho (8) trabajadores que son los operarios de la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA Maturín.

Para desarrollar el modelado de la plataforma de telecomunicaciones se requiere la aplicación de la metodología análisis *RAM*, la cual consta de 3 etapas:

### Etapa I: Análisis de Datos

En esta etapa se busca conocer las tasas de fallas y mantenimientos de los equipos o componentes que conforman la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos. Para esta etapa se realizan los siguientes pasos:

- *Recopilación de Data Histórica Propia*: se recolecta información de campo sobre las fallas de tipo y frecuencia y los datos de reparación de los equipos que componen la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos.
- *Revisión y Validación de las Bases de Datos*: se valida la información de confiabilidad obtenida para los equipos del sistema (TPPF y TPPR). Aquí se incluyen entrevistas con personal vinculado con la plataforma, con la finalidad de intercambiar, aclarar la información obtenida, revisar y definir las filosofías de operación.
- *Estimaciones*: se utiliza la información proveniente de los pasos anteriores para obtener una estimación de las tasas de falla y reparación del sistema. Se obtiene aplicando fórmulas algebraicas que permiten usar las distribuciones de probabilidad y fundamentos matemáticos.

### Etapa II: Diseño del Modelo

En esta etapa se procede a realizar la revisión y verificación de la arquitectura del modelo mediante las siguientes etapas:

- *Construcción del Diagrama de Bloque de Disponibilidad*: se realiza el modelado de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos, para posteriormente realizar su revisión.
- *Revisión de la representatividad del modelo*: se verifica la validez del modelo realizado, sometiendo a pruebas en reuniones con expertos de dicha plataforma.
  - a) *Formulación del modelo*: Se desarrolla el modelo considerando los procesos involucrados en el mantenimiento de la plataforma.
  - b) *Codificación del modelo*: Se procede con la codificación del modelo en un software (raptor 7.0 para objeto de la presente investigación) donde se realizan las simulaciones necesarias del sistema.
  - c) *Revisión de la representatividad del modelo*: Se revisa en conjunto con analistas del área la representatividad del modelo para su posible corrección o aprobación.

### Etapa III: Simulación

Una vez que se verifica el modelo, se procede a realizar la combinación de los resultados que se obtienen de las etapas anteriores; aquí es donde se introduce la información de las tasas de falla y reparación procesadas en el software raptor. En el siguiente paso se inicia

el proceso final de modelaje, con la generación de una cantidad de pre-establecidos escenarios, con la finalidad de observar la funcionalidad del modelo y por consiguiente generar un reporte de lo obtenido.

## Resultados y Discusión

### Etapa I: Análisis de los datos

La plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos de las diferentes instalaciones y localidades que conforman a PDVSA, está compuesta por diferentes dispositivos electrónicos entre los que destacan: *routers*, *switches* y *access points*. El funcionamiento óptimo de estos dispositivos es de gran valor para que los trabajadores de PDVSA mantengan el flujo de información, para garantizar la continuidad operativa de la empresa.

### Recopilación de Data Histórica Propia

La recopilación de la data histórica de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos, se logró mediante la revisión de los informes mensuales de fallas de los diferentes equipos que la conforman, por un periodo de tiempo de dieciocho (18) meses que abarca desde marzo 2020 hasta agosto 2021. Esta información fue suministrada por CIMOR de la Gerencia de Automatización, Informática y Telecomunicaciones (AIT) de PDVSA. El presente estudio tomó en cuenta las siguientes áreas administrativas y operacionales de la localidad de Maturín:

- Edificio ESEM.
- Edificio Bermada.
- Centro de formación Socialista.
- Edificio PDVSA GAS.
- Sede de PDVSA en CCP.
- Edificio Doña trina.
- Clínica Emigdio Cañizales Guedez,
- Planta SISOR.
- Quiriquire.
- Caripito.

En la Tabla 1 se observa la información de los números de casos de incidentes reportados durante los meses de estudio, con su correspondiente total de horas y promedio de horas.

**Tabla 1**

#### *Casos Incidentes Maturín*

MESES	CASOS INCIDENTES	TOTAL DE HORAS	PROMEDIO DE HORAS
Julio 20	15	79.64	5.31
Agosto 20	31	327.68	9.93
Septiembre 20	33	957.18	29.01
Octubre 20	33	684.11	20.12
Noviembre 20	96	2204.83	22.49
Diciembre 20	57	1231.66	21.61

MESES	CASOS INCIDENTES	TOTAL DE HORAS	PROMEDIO DE HORAS
Enero 21	48	2055.83	41.12
Febrero 21	54	274.63	5.08
Marzo 21	72	218.72	5.08
Abril 21	36	87.86	2.31
Mayo 21	50	316.61	5.97
Junio 21	61	1125.23	18.45
Julio 21	60	180.68	3.01
Agosto 21	43	231.01	5.37
<b>Total</b>	<b>819</b>	<b>11324.52</b>	<b>246.72</b>

En la tabla anterior también se puede observar el total de horas que se recolectaron de los reportes de fallas en la localidad de Maturín, lo cual arrojó una cantidad de 11324.52 horas presentando un promedio de fallas de 12.98 horas durante los dieciocho (18) meses de recolección de datos. Para el siguiente paso, los equipos pertenecientes a la plataforma objeto de estudio se dividieron por marca y modelo (ver Tabla 2).

**Tabla 2**

*Marca y modelo de los equipos de telecomunicaciones*

MARCA	MODELO	CANTIDAD	CASOS	HORAS DE FALLA
Cisco	Router 2811	2	21	238.22
Cisco	Switch 2950	3	34	242.57
Cisco	SW red-adm 3512	1	5	101.75
Cisco	SW red-adm 3550	7	166	3116.63
Cisco	SW red-adm 3560	5	15	1287.12
Cisco	SW red-adm 3750	37	266	2313.87
Cisco	SW red-adm 4506	19	179	1641.52
Cisco	SW red adm 6513	2	0	0.00
ZTE	SW red-adm/zte 3928	1	0	0.00
ZTE	SW red-adm/zte 5928	4	16	180.94
ZTE	SW red-adm/zte	1	0	0.00
Cisco	Aironet 1310 Access Point/Bridge	2	82	625.02
Cisco	Aironet 1400 series Wireless Bridge	4	6	107.28
LANPRO	LP-5ai	4	0	0.00
<b>Total</b>		<b>106</b>	<b>851</b>	<b>11324.52</b>

Los reportes de fallas de los equipos (tipos de fallas y duración) se obtuvieron del CIMOR. Las fallas se agruparon en nueve (9) grupos como se muestra en la Tabla 3:

**Tabla 3***Casos Incidentes por tipo de falla Maturín*

INCIDENTES	CASOS	TOTAL HORAS
Falla eléctrica	646	6668.79
Falla del equipo	25	916.28
Falla por otro equipo	16	188.93
Falla por mantenimiento	15	13.57
Se desconoce causas y acciones correctivas	146	1863.97
Sin acción correctiva	4	7.62
Otros	14	1665.35
<b>Total</b>	<b>866</b>	<b>11324.51</b>

**Revisión y Validación de la Base de Datos**

El plan de mantenimiento para la disciplina de redes abarca los equipos: *access point*, centrales telefónicas, *switch*, *router* y *transceiver*. Para efectos de esta investigación se tomaron en cuenta los planes de mantenimiento de *access point*, *switch* y *router*.

**Estimaciones**

Para las estimaciones fue necesario conocer la disponibilidad promedio de cada uno de los 106 equipos que forman parte del estudio. Los datos generados por CIMOR se obtuvieron sobre un periodo de dieciocho (18) meses. Luego se calculó el Tiempo Total (TT) de trabajo que fue equivalente a 12960 horas.

Posteriormente se procedió a calcular el tiempo en operación (TO) de los equipos y el tiempo fuera de servicio (TFS), ambos son equivalentes al tiempo promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo promedio para reparar (TPPR), los cuales fueron necesarios como insumo del modelo. Estos tiempos de disponibilidad (D) se obtuvieron mediante la ecuación (1):

$$D = TO / (TO + TFS) \quad (1)$$

$$TT = TO + TFS \quad (2)$$

El TT es el tiempo en el cual se buscó la disponibilidad; sustituyendo la ecuación (2) en la Ecuación (1), queda la ecuación (3):

$$TO = D \times TT \quad (3)$$

Una vez obtenido TO, se calculó el valor de TFS mediante la ecuación (4).

$$TFS = TT - TO \quad (4)$$

En la Tabla 4 se observan los cálculos obtenidos de los 106 equipos pertenecientes a la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA Maturín. Los cálculos realizados son en base a un TT de 12960 horas.

**Tabla 4**

*Disponibilidad promedio, tiempo de operación y tiempo fuera de servicio de los equipos de la plataforma de telecomunicaciones*

<b>EQUIPO</b>	<b>DISPONIBILIDAD PROMEDIO</b>	<b>TO</b>	<b>TFS</b>
AP-SalaAITM3N1	0.983914737	13459.9536	220.0464
ap-bermada-p2	0.997367368	13643.9856	36.0144
ap-bermada-p3	0.995296316	13615.6536	64.3464
ap-bermada-p4	0.997176842	13641.3792	38.6208
ap-bermada-p5	0.996437368	13631.2632	48.7368
ap-bermada-pb	0.976409474	13357.2816	322.7184
ap-mun_ccp-cvp	0.975991579	13351.5648	328.4352
ap-mun_cfos	0.964487368	13194.1872	485.8128
ap-mun_esem-planif	0.993694211	13593.7368	86.2632
ap-mun_esem-salonqq	0.639258947	8745.0624	4934.9376
ap-mun_esem-torret	0.996509474	13632.2496	47.7504
ap-salagerencia	0.99587	13623.5016	56.4984
er-caripito1	0.975756316	13348.3464	331.6536
er-edif-bermada-pb	0.997394444	13644.356	35.644
er-mun_cfos	0.988116842	13517.4384	162.5616
er-mun_clinica-bg	0.998182105	13655.1312	24.8688
er-mun_dtrina	0.997023158	13639.2768	40.7232
er-mun_eimar-P2	0.975530526	13345.2576	334.7424
er-mun_pdvgas	0.996886842	13637.412	42.588
er-mun_ttelecom	0.998324737	13657.0824	22.9176
er-muncep01	0.996788947	13636.0728	43.9272
er-munese1	0.998441579	13658.6808	21.3192
er-munsis01	0.997817368	13650.1416	29.8584
er-quiriq1	0.998153684	13654.7424	25.2576
es-carfisca01	0.907536316	12415.0968	1264.9032
es-clicpto01	0.899247895	12301.7112	1378.2888
es-coremun1	0.998441579	13658.6808	21.3192
es-cptottelecom	0.975702632	13347.612	332.388
es-edif-bermada-p1	0.971130526	13285.0656	394.9344
es-edif-bermada-p2	0.997405263	13644.504	35.496
es-edif-bermada-p3	0.997125263	13640.6736	39.3264

EQUIPO	DISPONIBILIDAD PROMEDIO	TO	TFS
es-edif-bermada-p4	0.997202105	13641.7248	38.2752
es-edif-bermada-p5	0.996442105	13631.328	48.672
es-edif-bermada-p6	0.995501579	13618.4616	61.5384
es-esemanexo01	0.995565263	13619.3328	60.6672
es-esemm1n101	0.998417368	13658.3496	21.6504
es-esemm1n102	0.998416842	13658.3424	21.6576
es-esemm1n201	0.998419474	13658.3784	21.6216
es-esemm1n202	0.998091053	13653.8856	26.1144
es-esemm2n101	0.998189474	13655.232	24.768
es-esemm2n201	0.9982	13655.376	24.624
es-esemm2n4	0.995749474	13621.8528	58.1472
es-esemm3n101	0.998419474	13658.3784	21.6216
es-esemm3n201	0.998419474	13658.3784	21.6216
es-esemm4n101	0.998417895	13658.3568	21.6432
es-esemm4n102	0.998417368	13658.3496	21.6504
es-esemm4n201	0.998417368	13658.3496	21.6504
es-esemm4n202	0.998417368	13658.3496	21.6504
es-esemsotanm201	0.998377368	13657.8024	22.1976
es-esemsotanom401	0.997765556	13649.4328	30.5672
es-mun-Mempet01	0.98174	13430.2032	249.7968
es-mun-cecom01	0.997932632	13651.7184	28.2816
es-mun-mvivienda-fp	0.924409474	12645.9216	1034.0784
es-mun_DTrina	0.996446316	13631.3856	48.6144
es-mun_ccp-p_mayores	0.990663158	13552.272	127.728
es-mun_cfos-pna	0.979207368	13395.5568	284.4432
es-mun_eimar-P1	0.968272105	13245.9624	434.0376
es-mun_eimar-PB	0.971155263	13285.404	394.596
es-mun_esem-central_tele	0.816641053	11171.6496	2508.3504
es-mun_hangar	0.991416316	13562.5752	117.4248
es-mun_jubilados	0.984087895	13462.3224	217.6776
es-mun_pdvgas-pa	0.995631579	13620.24	59.76
es-mun_psc-aeropuerto	0.963805263	13184.856	495.144
es-mun_qtafurrial	0.984813158	13472.244	207.756
es-mun_hangar	0.991416316	13562.5752	117.4248

EQUIPO	DISPONIBILIDAD PROMEDIO	TO	TFS
es-mun_jubilados	0.984087895	13462.3224	217.6776
es-mun_pdvgas-pa	0.995631579	13620.24	59.76
es-mun_psc-aeropuerto	0.963805263	13184.856	495.144
es-mun_qtafurrial	0.984813158	13472.244	207.756
es-mun_servidor01	0.998416842	13658.3424	21.6576
es-mun_servidor02	0.998416842	13658.3424	21.6576
es-munccp01	0.996272632	13629.0096	50.9904
es-munccp_D_Urb	0.989646842	13538.3688	141.6312
es-munccp_P-Agr01	0.994635789	13606.6176	73.3824
es-munccp_pcp	0.996782632	13635.9864	44.0136
es-muncfosAg01	0.967443158	13413.0744	266.9256
es-munsis_EdfAdmin	0.997506842	13234.6224	445.3776
es-munsis_SControl	0.997757895	13645.8936	34.1064
es-munsis_TMecanico	0.984384211	13649.328	30.672
es-munsis_Ttelecom	0.997554737	13466.376	213.624
es-munsis_autogas	0.990917368	13646.5488	33.4512
es-qq_TMecanico	0.931032105	13555.7496	124.2504
es-qq_Ttelecom	0.998149474	12736.5192	943.4808
es-qq_casa180	0.954559474	13654.6848	25.3152
es-qq_casa181	0.953260526	13058.3736	621.6264
es-qq_construpatria	0.975461579	13040.604	639.396
es-qq_trailer-piump	0.913883158	13344.3144	335.6856
es-qqadmin01	0.973844211	12501.9216	1178.0784
es-qqnucleoteca01	0.973936842	13322.1888	357.8112
es-qqtelecom01	0.997975789	13323.456	356.544
es-qrqli01	0.973342105	13315.32	364.68
es-semisotano-M3	0.993039474	13584.78	95.22
es-sotano-activos	0.997837368	13650.4152	29.5848
es-torretelemun	0.998246316	13656.0096	23.9904
es_edif-bermada_PCP_p1	0.971135789	13285.1376	394.8624
ew-Mcptorefineria	0.908799474	12432.3768	1247.6232
ew-Rcptoclinica	0.900933158	12324.7656	1355.2344
ew-dt-fp	0.749022105	10246.6224	3433.3776
ew-dt_eimar	0.990169474	13545.5184	134.4816

EQUIPO	DISPONIBILIDAD PROMEDIO	TO	TFS
ew-cimar_dt	0.980562632	13414.0968	265.9032
ew-fp-dt	0.947693158	12964.4424	715.5576
ew-mun_dt-hangar	0.992162632	13572.7848	107.2152
ew-mun_dt-psc	0.996993684	13638.8736	41.1264
ew-mun_hangar-dt	0.991491053	13563.5976	116.4024
ew-mun_psc-dt	0.964458947	13193.7984	486.2016
ew-refineriacpto	0.902697895	12348.9072	1331.0928
ew-torrepto	0.973572632	13318.4736	361.5264
es-qq_casa2-1	0.721900526	11114.7048	2565.2952
es-qq_casa20	0.812478421	10451.1816	3228.8184
es-qq_escuela-lb	0.763975263	10451.1816	3228.8184
es-qqlibertador02	0.733472105	10033.8984	3646.1016

## Etapa II: Construcción del modelo

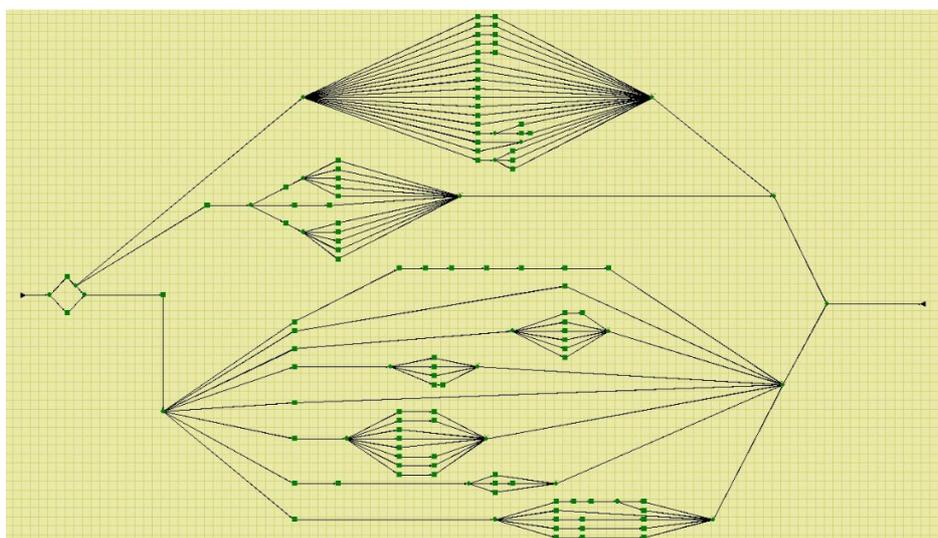
### Construcción del diagrama de bloque de disponibilidad

Al recolectar la información necesaria para el modelamiento del sistema, se procedió a establecer el diagrama de bloques de confiabilidad para el sistema estudiado en el espacio de trabajo (*workspace*) del software Raptor 7.0. Este diagrama se diseñó teniendo en cuenta las conexiones lógicas del sistema y, a cada bloque, le corresponde sus tiempos promedios de falla y reparación que fueron calculados previamente.

Al culminar con la inserción de los bloques y nodos de todos los equipos de la red de telecomunicaciones a nivel de conmutadores, enrutadores y puntos de acceso, se colocó el nodo de enlace final, el cual es el que conecta todas las sedes de PDVSA Maturín. En base a lo anterior fue necesario configurar en el nodo, el número de enlaces que llegan a éste para que el nodo se encuentre en funcionamiento.

**Figura 1**

*Modelo de la plataforma de Telecomunicaciones PDVSA Maturín*



Cabe destacar que la gerencia de AIT, para el cálculo de la disponibilidad de la plataforma de telecomunicaciones, hace un promedio con los tiempos de fallas de cada equipo pertenecientes a una red LAN, lo cual permite observar la disponibilidad de sus equipos de telecomunicaciones. Luego de agregarse los 107 bloques y 25 nodos que conforman la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA Maturín, el modelo obtiene la topología mostrada en la Figura 1.

### ***Inserción de parámetros de falla y reparación***

Luego de realizar la representatividad del modelo de la plataforma, el paso siguiente fue la inserción de los parámetros de falla y reparación, donde cada bloque de la plataforma representa un equipo, a los cuales se les ingresó los datos de falla y reparación correspondientes a cada equipo.

Posteriormente se seleccionó la distribución estadística “exponencial” ya que es una normativa establecida por PDVSA, que tiene como requerimiento la utilización de la distribución estadística exponencial en el mantenimiento de los equipos electrónicos. Esta distribución describe la cantidad de tiempo que transcurre entre eventos, tal como el tiempo entre fallas de equipos electrónicos. Posterior a la selección de la distribución estadística, se introdujeron los tiempos de falla y reparación. Este procedimiento se repitió en cada bloque perteneciente a la plataforma con sus respectivos datos para cada equipo.

## **Etapa III: Simulación**

### ***Simulación del Modelo***

Se realizaron las simulaciones del modelo de la plataforma, con la finalidad de obtener las proyecciones de confiabilidad y disponibilidad en los siguientes periodos:

- **Semanal:** 168 horas
- **Mensual:** 720 horas
- **Trimestral:** 2160 horas
- **Semestral:** 4320 horas
- **Anual:** 8640 horas

Entre las posibles decisiones que se pueden tomar en base a los resultados de las proyecciones tenemos:

- Aumento o disminución de la frecuencia de mantenimiento en equipos o subsistemas.
- Variación en la duración de los mantenimientos.
- Reasignación de recursos para realizar el mantenimiento.
- Aumentar, mantener o disminuir personal para el mantenimiento de los equipos.
- Incorporación y/o desincorporación de equipos o sistemas del plan de mantenimiento.

Las proyecciones semanales apoyan la toma de decisiones a nivel operativo para aminorar aquellos posibles inconvenientes que se presenten semanalmente. La proyección semanal permite identificar aquellos equipos con mayor frecuencia de fallas semanales y que pueden afectar tanto el comportamiento global como local a nivel de redes.

Las proyecciones mensuales permiten observar el posible comportamiento futuro de los equipos mes a mes, facilitando a los planificadores del mantenimiento visualizar si la ejecución del calendario de mantenimiento va según lo planificado. Las proyecciones

trimestrales y semestrales, facilitan a los planificadores la toma de decisiones a nivel táctico, debido a que, el resultado de las proyecciones ayuda a realizar un estudio de la efectividad de las reparaciones realizadas, permitiendo la elaboración de un plan de mantenimiento ajustado a los resultados obtenidos.

Las proyecciones anuales soportan la toma de decisiones a nivel estratégico, en razón de que, el plan de mantenimiento de la plataforma de telecomunicaciones es actualizado anualmente en conjunto con el plan de negocios, en el cual se encuentra contemplado el análisis del crecimiento del Distrito.

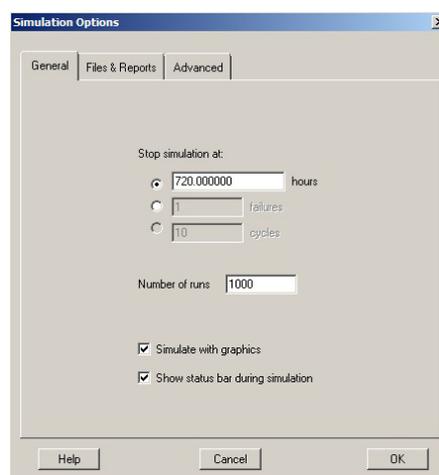
Con la finalidad de obtenerse la disponibilidad promedio de los equipos, los canales de los enlaces de los nodos se ajustaron de la siguiente manera:

- Nodo\_Fin\_ESEM: 10 de 19
- Nodo Union\_suiche\_serv: 1 de 2
- Nodo Fin\_QQ: 6 de 11
- Nodo Fin\_CCP: 3 de 6
- Nodo Fin\_CFOS: 2 de 4
- Nodo Fin\_Bermada: 4 de 8
- Nodo Fin\_Sisor: 2 de 3
- Nodo Fin\_Doña\_Trina: 3 de 6
- Nodo Fin\_Nodo\_Fin\_Distri: 4 de 8
- Nodo Fin\_ESEM\_QQ: 1 de 2
- Nodo Fin: 1 de 2

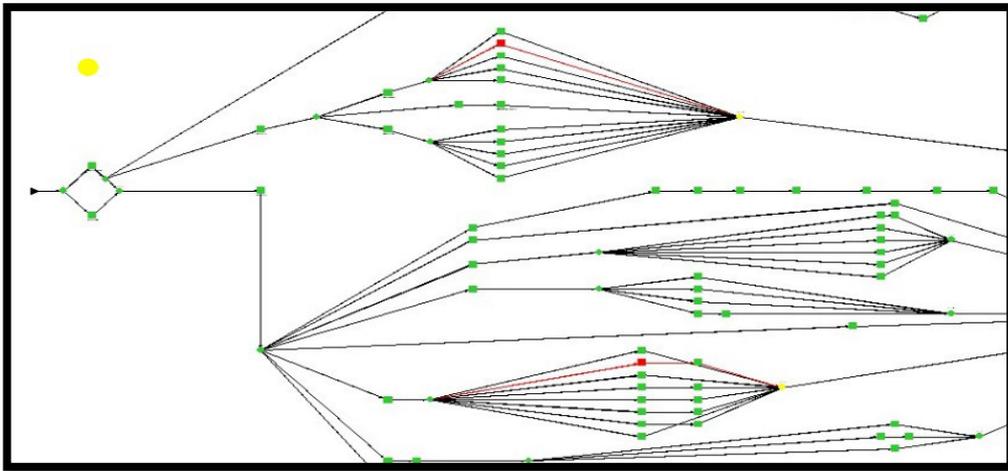
Después de culminar con la construcción del modelo de la plataforma, el siguiente paso fue configurar en el software raptor las opciones para la simulación, para lo cual se procedió a establecer la cantidad de 720 como las horas de las proyecciones y, el número de corridas requeridas configurado fue 1000, como se observa en la Figura 2.

**Figura 2**

*Selección de horas de proyección y número de corridas*



Posterior a la configuración de las opciones del simulador, se procedió con la simulación del modelado de la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos de PDVSA Maturín, obteniéndose el despliegue que generó la simulación del modelo del sistema mostrado en la Figura 3.

**Figura 3***Simulación del modelo*

En el proceso de la simulación (ver Figura 3) se observa que el software muestra tres colores que indican la disponibilidad de cada componente, de acuerdo con el rango de porcentaje del mismo. El color verde está indicando que el elemento se encuentra en perfecto estado, en este caso indica que la disponibilidad del elemento está por encima de 0.998450 que es el rango de disponibilidad aceptable por la empresa.

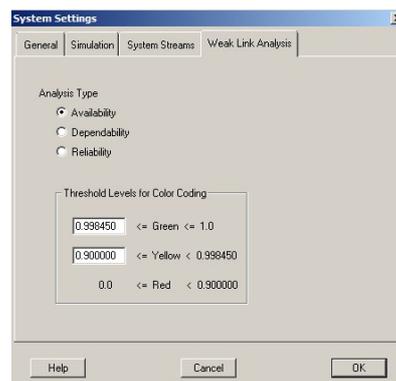
El color amarillo en un bloque o nodo indica que algún elemento o combinación de elementos está empezando a fallar o a bajar su nivel de disponibilidad, es decir, tiene una disponibilidad por debajo de 0.998450 y por encima de 0.900000. El color rojo significa que algún elemento o combinación de elementos ha fallado o causado una falla en una línea de comunicación, originando una falla en el sistema; lo cual significa que el valor de disponibilidad de ese elemento se encuentra por debajo del valor 0.900000. Por lo tanto, el rango de porcentaje fue establecido y configurado en los siguientes valores:

$0.998450 < Verde < 1.0$  (Rango aceptable)

$0.900000 < Amarillo < 0.998450$  (Rango mejorable)

$0.0 < Rojo < 0.900000$  (Rango no aceptable)

En la Figura 4, se muestra una ventana con la configuración de los rangos de disponibilidad establecidos:

**Figura 4***Configuración de los rangos de disponibilidad*

### **Análisis de los resultados**

a) Interpretación de los resultados: de las proyecciones realizadas en los periodos semanal, mensual, trimestral, semestral y anual; se obtuvieron los datos de disponibilidad y confiabilidad mostrados en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Resultado de las proyecciones*

PROYECCIÓN	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
Semanal (168 Hrs)	0.997393332	0.979
Mensual: 720 Hrs	0.997312877	0.892
Trimestral: 2160 Hrs	0.996797642	0.723
Semestral: 4320 Hrs	0.99701426	0.548
Anual: 8640 HRS	0.996911521	0.273

En los resultados de disponibilidad mostrados en la Tabla 5, el sistema se encuentra dentro de la banda mejorable, por lo cual es necesario tomar acciones para tratar de mitigar estas disminuciones en la disponibilidad y así poder obtener el resultado esperado por la gerencia. Con respecto a la confiabilidad del sistema en la proyección semanal, se observa que arrojó un valor de 0.979, lo que indica que está por debajo de la banda de aceptación, razón por la cual se requiere una revisión de la funcionalidad de los equipos que conforman el sistema. En la confiabilidad de la proyección mensual se puede observar un valor de 0.892, lo cual genera una alerta para la revisión de los planes de mantenimiento y de las estrategias orientadas al mantenimiento de la plataforma.

Las proyecciones trimestral y semestral arrojaron una confiabilidad de 0.723 y 0.548 respectivamente, lo cual denota que el sistema se encuentra fuera del rango mejorable, debido a que, muchos equipos presentan deterioro por cumplimiento de su vida útil y otros equipos presentan fallas ocasionadas por fallas en el suministro de energía eléctrica. Para la proyección anual, el valor de confiabilidad obtenido fue de 0.273, lo que indica que la gerencia de AIT al finalizar el año debe evaluar las estrategias tomadas, con la finalidad de adecuar un plan de negocios ajustado a sus necesidades, considerando una correcta evaluación de los factores que influyen en las fallas presentadas por los equipos, que permitan tomar las decisiones correctas para que la empresa logre alcanzar las metas planificadas.

b) Validación de Resultados: en esta etapa se comparó los resultados de la simulación del modelo con los datos reales del sistema. Para realizar la comparación de los resultados se seleccionó un periodo determinado de un mes, este periodo abarcó desde el 01 de julio de 2021 hasta el 01 de agosto de 2021. El margen de error utilizado para la comprobación de los resultados fue del 5%.

En la Tabla 6 se muestran los equipos seleccionados de la plataforma de telecomunicaciones para su comparación con los datos reales del sistema. Los valores de disponibilidad reales fueron tomados en el mismo periodo de tiempo de la proyección realizada. Los cálculos de disponibilidad del modelo se proyectaron a un (1) mes que equivale a 720 horas.

**Tabla 6**  
*Comparación de disponibilidades*

EQUIPO	PROYECCIÓN DE DISPONIBILIDAD	DISPONIBILIDAD REAL	DIFERENCIA REAL VS PROYECTADA
ap-bermada-pb	0.997117097	0.9974	0.0282903%
ap-mun_esem-planif	0.994359313	0.99525	0.0890687%
ap-mun_esem-torret	0.998787952	0.99864	0.0147952%
ap_bermada-p4	0.998914114	0.99879	1.24114%
er-caripito1	0.963259628	0.95733	0.5929628%
er-mun_dtrina	0.995908168	0.99686	0.0951832%
er-munccp01	0.997690461	0.99881	0.1119569%
er-quiriq1	0.999999986	1	0.0000014%
es-cptottelecom	0.963068706	0.9573	0.5768706%
es-esemm2n201	0.999256838	0.99923	0.0026838%
es-esemsotanom401	0.998658002	1	0.1341998%
es-munccp01	0.998618393	0.99887	0.0251607%
es-munsis_autogas	0.999049783	0.99886	0.0189783%
es-mun_eimar-P1	0.995851882	0.99554	0.0311882%
es-muncfosAg01	0.998756725	0.99873	0.0026725%
es-qq_casa180	0.927718158	0.88783	3.9888158%

En función de los resultados mostrados en la Tabla 6, se puede concluir que el modelo construido para representar la plataforma de telecomunicaciones y transmisión de datos de PDVSA Maturín es un modelo que se asemeja a la realidad, ya que, al comparar los datos proyectados con los datos reales, éstos presentan una diferencia dentro del margen de error del 5 % lo cual es aceptable para la gerencia objeto de estudio.

### ***Síntesis de los resultados***

Los resultados obtenidos por medio de las proyecciones del modelo de la plataforma en el software Raptor 7.0 y los datos calculados de manera manual, servirán de apoyo a la empresa para hacer una revisión de su plan de mantenimiento y, observar qué factores pueden mejorar para aumentar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos de la plataforma.

Las proyecciones y el histórico del comportamiento de la plataforma pueden arrojar como resultado: el aumento o disminución de la frecuencia del mantenimiento, variación en la duración de los mantenimientos, reasignación de recursos, incorporación o desincorporación de equipos o sistemas del plan de mantenimiento, incorporación de unidades para el respaldo del servicio eléctrico, incorporación de unidades para el soporte de las funciones de los sistemas de redes de la empresa.

Con los resultados de las proyecciones y la revisión detallada de los reportes de alarmas, se busca obtener el mejoramiento de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad, con la finalidad de que la empresa pueda reducir costos evitando fallas inesperadas en los equipos o

sistemas; así como también optimizar el funcionamiento de la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA en Maturín.

### **Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad se basa en experimentar con la creación de ciertos escenarios, el impacto de los componentes del sistema en la disponibilidad, confiabilidad y el funcionamiento del proceso en estudio. Para este análisis los actores principales son todos los nodos finales del modelo estudiado, en el cual se incluyen los nodos que están al final de cada sede que contienen a todos los equipos enrutadores, conmutadores y *access point* y el nodo final que conecta a todas sedes de la empresa en Maturín, Quiriquire y Caripito.

Los escenarios de simulación utilizados para el estudio de sensibilidad fueron enmarcados en tres partes como lo son el escenario mínimo, escenario promedio y máximo.

a) **Escenario Mínimo:** en este escenario se configuraron los canales de enlace al mínimo número de rutas necesarias para que los nodos estén operando.

- Nodo\_Fin\_ESEM: 1 de 19
- Nodo Union\_suiche\_serv: 1 de 2
- Nodo Fin\_QQ: 1 de 11
- Nodo Fin\_CCP: 1 de 6
- Nodo Fin\_CFOS: 1 de 4
- Nodo Fin\_Bermada: 1 de 8
- Nodo Fin\_Sisor: 1 de 3
- Nodo Fin\_Doña\_Trina: 1 de 6
- Nodo Fin Nodo\_Fin\_Distri: 1 de 8

El resultado de la proyección del escenario mínimo dio valores que están dentro de la banda mejorable de disponibilidad y confiabilidad de los equipos de telecomunicaciones de la empresa.

b) **Escenario promedio:** Para este caso se seleccionó el número inmediato superior al promedio y se buscó observar y analizar las diferencias entre los escenarios extremos que son el escenario mínimo y el máximo.

- Nodo\_Fin\_ESEM: 10 de 19
- Nodo Union\_suiche\_serv: 1 de 2
- Nodo Fin\_QQ: 6 de 11
- Nodo Fin\_CCP: 3 de 6
- Nodo Fin\_CFOS: 2 de 4
- Nodo Fin\_Bermada: 4 de 8
- Nodo Fin\_Sisor: 2 de 3
- Nodo Fin\_Doña\_Trina: 3 de 6
- Nodo Fin Nodo\_Fin\_Distri: 4 de 8

Para los resultados del escenario promedio se tomó en cuenta que la mitad de los enlaces de los nodos estuviesen en funcionamiento, dando como resultado valores elevados de probabilidad y confiabilidad, pero dentro del promedio mejorable.

c) **Escenario Máximo:** para este escenario se estableció que el funcionamiento de los nodos de enlace no falle ningún bloque, por lo tanto, se establecieron el mayor número de conexiones posibles para cada nodo. La finalidad de este escenario es observar cómo se comporta el sistema cuando todos los equipos se encuentran conectados.

- Nodo\_Fin\_ESEM: 19 de 19
- Nodo Union\_suiche\_serv: 2 de 2
- Nodo Fin\_QQ: 11 de 11
- Nodo Fin\_CCP: 6 de 6
- Nodo Fin\_CFOS: 4 de 4
- Nodo Fin\_Bermada: 8 de 8
- Nodo Fin\_Sisor: 3 de 3
- Nodo Fin\_Doña\_Trina: 6 de 6
- Nodo Fin\_Nodo\_Fin\_Distri: 8 de 8

Los datos de las proyecciones del escenario máximo arrojaron una disponibilidad y una confiabilidad con valores dentro del rango no aceptable, esto originado a que, con simplemente fallar un equipo en el sistema, afecta su funcionamiento por completo.

El objetivo principal de realizar el análisis de sensibilidad, es conocer el comportamiento del sistema de telecomunicaciones al realizar cambios en los canales de transmisión de los equipos, realizando una configuración en los nodos de recepción de bloques y nodos, con la finalidad de obtener una configuración confiable del sistema para poder obtener proyecciones aceptables del modelo de la plataforma de telecomunicaciones.

### Conclusiones

A base de resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones:

- De los 106 equipos estudiados se pudo constatar que, en la localidad de Maturín se generaron un total de 866 reportes de alarmas durante el periodo estudiado, dentro de los cuales el 74.59% de los reportes fueron generados por fallas del suministro eléctrico.
- Se verificó la representatividad del modelo mediante proyecciones realizadas desde el 01 de julio de 2021 hasta el 01 de agosto de 2021 contra los datos reales tomados en el mismo periodo de tiempo, arrojando una diferencia de 3.0442394% el cual es un margen de error aceptable, debido a que se encuentra dentro del rango del 5% asignado por la Directiva de AIT. Con lo anteriormente mencionado se pudo constatar que el modelo de la plataforma de telecomunicaciones de PDVSA Maturín representa la realidad del sistema bajo estudio, con lo que la gerencia de AIT tendrá la posibilidad de calcular la disponibilidad de la totalidad del sistema y de sus equipos por separado.
- El análisis de sensibilidad arrojó que el nodo con menor disponibilidad fue Fin\_QQ que es el nodo que representa el nodo final que conecta a los equipos de la sede de Quiriquire. Esto se debe a que en la zona de Quiriquire se presentan muchas fallas en el servicio eléctrico y la duración de las fallas eléctricas sobrepasan la autonomía de los equipos de respaldo de energía (UPS).
- El modelo de la plataforma realizado en el software Raptor 7.0 permite inferir en la probabilidad del comportamiento de los equipos y de la totalidad del sistema en los

distintos escenarios de simulación, basados en la configuración de los sistemas y la confiabilidad de sus componentes.

- El modelo propuesto permitirá disminuir las consecuencias asociadas a la pérdida de comunicación tanto para las redes administrativas como las redes de producción, debido a que apoyará la generación de nuevos planes de mantenimiento; lo cual facilitará el control sobre los equipos, a fin de aumentar la confiabilidad del sistema y de esta forma evitar consecuencias negativas en el proceso productivo.
- Las proyecciones del modelo servirán de apoyo a la empresa para hacer una revisión de su plan de mantenimiento y observar el comportamiento de factores como la frecuencia de los mantenimientos, duración de los mantenimientos, recursos necesarios para realizar el mantenimiento, equipos a los cuales se les realiza el mantenimiento, prevenir fallas futuras y evaluar la incorporación de nuevos equipos a fin de garantizar el funcionamiento óptimo de la plataforma.
- La metodología descrita en la realización del modelado permite adaptarlo a cualquiera de la plataforma de telecomunicaciones existentes en las distintas localidades e instalaciones donde PDVSA tiene operaciones, permitiendo obtener resultados positivos en términos de mantenimiento, resultados financieros, ambientales y personales.

### Referencias

- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. (6a. Edición)*. Caracas: Episteme C.A.
- Barcelo, J. (1996). *Simulación de Sistemas Discretos*. Madrid: Isdefe.
- Bajunescu, T y Bazu, M. (1999). Reliability of Electronic Components: A Practical Guide to Electronic Systems Manufacturing. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-58505-0\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-58505-0_1)
- Birolini, A (2017). *Ingeniería de Confiabilidad: Teoría y Práctica (Reliability Engineering: Theory and Practice 8th ed.)*. Berlin; Springer-Verlag.
- Castro, M. (2003). *El proyecto de investigación y su esquema de elaboración. (2ª.ed.)*. Caracas: Uyapal.
- Gerard, I y Anzurez, J. (2001). Análisis de Confiabilidad de Circuitos Electrónicos Usando Matlab. [https://www.iiis.org/CDs2011/CD2011CSC/CISCI\\_2011/PapersPdf/CA326DF.pdf](https://www.iiis.org/CDs2011/CD2011CSC/CISCI_2011/PapersPdf/CA326DF.pdf)
- Martínez, M. (2006). Análisis de Confiabilidad Operacional en el Sistema Microondas de la Gerencia de AIT Oriente de PDVSA, trabajo de grado presentado ante la Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- Mendez, C. (2011). *Metodología: Diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales. (4ª ed)*. Caracas: Limusa.
- Moubray, J. (1999). *Reliability-Centered Maintenance Second Edition*. Editorial: Industrial Press, Inc
- PDVSA (2013). Norma Técnica N° MM-02-02-02. *Administración de Planes de Mantenimiento Preventivo*.
- PDVSA (2013). Norma Técnica N° MM-02-01-00. *Contexto Operacional para el Sistema de Gestión y Control de Mantenimiento*.
- PDVSA (2013). Norma Técnica N° MM-02-02-01. *Elaboración de Planes de Mantenimiento Preventivo*.
- PDVSA (2013). Norma Técnica N° MM-01-01-03. *Niveles de Mantenimiento*.
- R2M (2005). *Confiabilidad Integral*.  
<http://reliarisk.com/sites/default/files/Archivos/Cap%C3%ADtulo1%20LibroConfiabilidad%20Integral.pdf>

- Sabino, C. (2000). *El Proceso de Investigación*. Caracas: Panapo.
- Sexto, L. (2005). *Confiabilidad Integral del Activo*. Ponencia presentada en el Seminario Internacional de Mantenimiento celebrado en Perú-Arequipa-TECSUP.
- Tamayo, M. y Tamayo (2004). *El proceso de la investigación Científica*. Mexico: Limusa.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2006). *Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL
- Vergara, E (2007). *Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad del sistema de crudo diluido de PETROZUATA*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Simón Bolívar, Caracas
- Yañez, M.; Gómez, H. y Valbuena, G. (2007). *Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo*. (1ª ed.). Maracaibo: Reliability and Risk Management.