



ARTÍCULO ORIGINAL

Análisis de confiabilidad de los low noise amplifier (LNA) de una red VSAT banda-KU

Reliability analysis of low noise amplifier in a KU-band VSAT network

• Hugo Ticona ¹

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Correo electrónico: Hugo.Ticona@unmsm.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7967-3210>

Recibido: 23 Julio del 2024 / **Revisado:** 31 Julio del 2024 / **Aprobado:** 02 Agosto del 2024 / **Publicado:** 29 de agosto del 2024

RESUMEN

El Perú posee una geografía diversa que le provee una variedad de recursos y cultural importante a la vez que le representa desafíos para el acceso a los servicios de telecomunicaciones debido a la ausencia de infraestructura necesaria. Los sistemas de comunicaciones satelitales VSAT representan una alternativa de conectividad en las zonas rurales, por lo cual el gobierno y entidades privadas recurren a dichos sistemas para obtener conectividad. Los sistemas VSAT deben operar bajo condiciones adversas por lo cual la estimación de la Confiabilidad de los componentes es importante tanto para la elaboración del presupuesto como para la estimación de repuestos a estimar durante el tiempo de vida del proyecto, así como para determinar la reusabilidad de los componentes en un tiempo donde la conservación del medio ambiente es un tema global de muy alto interés. El estudio aplicó conocimientos de la Ingeniería de Confiabilidad en el sector telecomunicaciones para hallar el modelo matemático de Confiabilidad de los amplificadores de bajo ruido (LNA) empleados en una red Satelital VSAT banda KU conformada por 1500 estaciones remotas instaladas en zonas rurales del Perú. Como conclusión se obtuvo que la Distribución de Weibull representa la mejor alternativa para realizar el modelado y haciendo uso del modelo hallado se estimó que los LNAs al término del 5to año de operación poseen una confiabilidad de 85% los cuales los hace aptos para ser reusados en otros proyectos

Palabras clave: VSAT; Satelital; Confiabilidad; LNA; Weibul.

ABSTRACT

Peru has a diverse geography that provides a variety of resources and significant cultural richness, while also presenting challenges for access to telecommunications services due to the lack of necessary infrastructure. VSAT satellite communication systems represent a connectivity alternative in rural areas, which is why the government and private entities rely on these systems to obtain connectivity. VSAT systems must operate under adverse conditions, making the estimation of component reliability important for budgeting and spare parts estimation throughout the project's lifespan, as well as for determining the reusability of components in a time where environmental conservation is a global issue of high interest. The study applied reliability engineering knowledge in the telecommunications sector to find the mathematical reliability model of the low noise amplifiers (LNA) used in a KU band VSAT satellite network consisting of 1500 remote stations installed in rural areas of Peru. The conclusion was that the Weibull distribution represents the best alternative for modeling, and using the derived model, it was estimated that the LNAs have an 85% reliability at the end of the 5th year of operation, making them suitable for reuse in other projects.

Keywords: VSAT; Satellite; Reliability; LNA; Weibull.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El Perú posee una geografía diversa, donde existen las llamadas zonas rurales en las que

generalmente el acceso a servicios básicos presenta restricciones por la insuficiente o inexistente infraestructura vial, eléctrica y tecnológica. Los sistemas satelitales VSAT

(Very Small Aperture Terminal), fueron diseñados para proveer conectividad a Internet y Datos justamente en esas zonas con infraestructura terrestre inexistente o insuficiente de telecomunicaciones. Uno de los elementos del sistema VSAT es la estación terminal remota VSAT, la cual consiste en una antena satelital y una electrónica compuesta por el Block Up Converter (BUC), Low Noise Amplifier (LNA) y un Satellite Router (Indoor Unit). La señal de información al viajar del satélite a la terminal recorre 36000 Km por lo que debe ser regenerada al llegar a la terminal VSAT por el Low Noise Amplifier (LNA) el cual amplifica la señal de información a la vez de filtrar todas las otras señales indeseadas que pudiesen estar acompañándola (Frenzel, 2016). Las zonas rurales implican condiciones desafiantes de trabajo para el LNA y ello va afectando el tiempo de vida del dispositivo, por lo que el presente trabajo de investigación se propuso

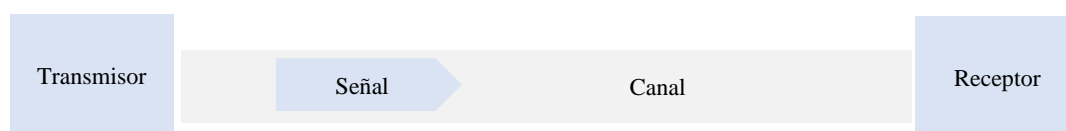
como objetivo hallar un modelo matemático que permita predecir el tiempo de vida en función de los años de servicio del LNA.

1.2. Marco teórico

El ser humano ha desarrollado complejos sistemas de comunicación electrónica para comunicarse a grandes distancias (Oppenheim y Verghese, 2013), un sistema de comunicación electrónica posee 4 elementos: un transmisor, un mensaje, un canal y un receptor, ver Figura 1, el canal es el medio por donde viaja la señal de información, la cual se afecta por el ruido y la atenuación causada por la resistencia que encuentra la señal de información al a travesar el canal (Frenzel, 2016). El ruido es cualquier señal no deseada, son distorsiones eléctricas que afectan negativamente a los sistemas de comunicaciones electrónicas y que tienen diversas formas de presentarse (Roddy y Coolen, 2014).

Figura 1

Partes de un sistema de Comunicación Electrónica



Las comunicaciones satelitales surgen en 1957 con el lanzamiento del satélite Sputnik I (Olorunfunmi, 2014), emplean señales electromagnéticas las cuales pueden representarse como una función matemática en función del tiempo y que se va atenuando según el espacio recorrido (Beard y Stallings, 2015), según Maral (2003) la señal sufre una atenuación aproximada de 200 dB en su viaje desde el satélite a la estación terminal VSAT. El contexto anterior, crea la necesidad de implementar una amplificación inteligente que filtre el ruido y amplifique sólo la señal de información, tarea que en los sistemas satelitales es cumplida por el LNA.

Los sistemas satelitales VSAT operan en zonas rurales donde las condiciones de energía, temperatura y físicas son agresivas lo que afecta el normal funcionamiento de los distintos componentes electrónicos de las estaciones terminales VSAT induciéndolos a fallar, el LNA no escapa a ello. Una falla causa que un componente pierda su condición de cumplir la función para la cual fue puesto en el sistema, Jiang (2015) afirma que se tienen las fallas intermitentes y las extendidas, la primera se

caracteriza por ser de corta duración mientras que la segunda requiere una acción correctiva para recobrar su estado de normal operatividad.

La Ingeniería de Confiabilidad se vale de diversas disciplinas de estudio para lograr una mejor administración del tiempo de vida de un producto (Tongdan, 2019), tiene el objetivo de evitar las fallas y se vale de la Probabilidad y Estadística (Yang, 2007). Jiang (2015) y Tongdan (2019) coinciden que la Confiabilidad es un atributo de calidad de un sistema o componente que se expresa cuantitativamente como el valor de probabilidad de que un sistema o componente no falle en un periodo específico y funcionando bajo las mismas condiciones, es expresada como una función matemática en función del tiempo definido como $R(t)$, donde R proviene del término en inglés Reliability:

$$R(t) = \Pr(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

..... ecuación (1)

1.3. Distribución de Weibull

Existe diversas funciones $f(t)$ que permiten modelar la Confiabilidad de un componente o sistema, la elección dependerá sobre a cuál de ellas se ajusta mejor los datos de las fallas, una de dichas funciones es la distribución de Weibull, usarla en el análisis de fallas provee las ventajas de brindar una precisión aceptable usando pocas muestras y la disponibilidad del plot de Weibull el cual permite obtener de forma gráfica sus parámetros de Forma (β), Escala (α) y de localización (τ), donde los dos primeros parámetros son mayores a cero y el tercero puede ser mayor igual a cero (Abernethy, 2004). Cuando τ toma el valor de cero, es cuando surge la distribución de Weibull de dos parámetros y la función $R(t)$ adopta la siguiente forma

$$R(t) = e^{\left[-\frac{t}{\alpha}\right]^\beta} \dots\dots \text{ecuación (2)}$$

De acuerdo con Abernethy (2004) realizar el análisis de falla con la distribución Weibull provee 2 ventajas importantes. La 1era es que se requiere muy pocas muestras para proporcionar una precisión aceptable en la predicción de fallas y la 2da es la disponibilidad del plot Weibull que de forma gráfica permite la obtención de los parámetros de la distribución. Las características anteriores han favorecido la difusión de su aplicación en diversas áreas.

En su forma general la distribución Weibull está expresada por la función $F(t)$ la cual se define como:

$$F(t; \theta) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t - \tau}{\alpha} \right)^\beta \right]$$

donde $t \geq \tau \dots\dots \text{ecuación (3)}$

Donde θ es el conjunto de los 3 parámetros que caracterizan a la función y llevan los siguientes nombres para poder distinguir uno del otro.

- ✓ **β :** Parámetro de forma, define el perfil de la función Weibull. Cuando β vale 1 se aproxima a la función exponencial y cuando vale 4 a la función Normal.
- ✓ **α :** Parámetro de escala, rige si la función en el eje horizontal tendrá base ancha o aguda
- ✓ **τ :** Parámetro de localización, hace referencia al desplazamiento en el eje horizontal de la función respecto al cero.

Otro punto importante que resaltar es que α y β son valores mayores a cero mientras que τ puede tomar un valor mayor igual a cero, justamente cuando toma cero se genera la función de Weibull de 2 parámetros. El que $\tau=0$ significa que la función de distribución de Weibull empieza a construirse en el tiempo=0.

Función Distribución de Densidad de Probabilidad:

$$f(t) = \left[\frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^\beta} \right] e^{\left[-\frac{t}{\alpha}\right]^\beta} \dots\dots\dots \text{ecuación (4)}$$

Función de Distribución de Probabilidad Acumulada: $F(t)$

$$F(t) = 1 - e^{\left[-\frac{t}{\alpha}\right]^\beta} \dots\dots\dots \text{ecuación (5)}$$

Confiabilidad: $R(t)$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = e^{\left[-\frac{t}{\alpha}\right]^\beta} \dots\dots\dots \text{ecuación (6)}$$

1.4. Bases Teóricas

Ramírez (2014) en su investigación se planteó como problema identificar el procedimiento más eficiente y adecuado que permita emitir pronósticos sobre un sistema considerando su historial de fallas. Concluyó que Weibull es una distribución que permite evaluar todos los periodos de vida operativa de un sistema. Paredes (2012) calculó los índices de mantenibilidad y confiabilidad usando la distribución de Weibull, una de sus conclusiones es que los resultados de los cálculos hacen recomendable una política de mantenimiento correctivo, así como validan algunas prácticas empíricas. Villanueva (2017) se planteó que los costos asociados a fallas en las redes eléctricas de media tensión se incrementan a falta de un sistema de gestión preventivo eficiente por lo que diseñó un modelo de gestión del mantenimiento que consideró la criticidad de los elementos y componentes del sistema. Rosado (2017) planteó que el mantenimiento en muchas organizaciones se lleva a cabo sin analizar las averías ni aprovechar los datos históricos acumulados, evaluó varios métodos con la finalidad de identificar el más conveniente para calcular la confiabilidad, para ello evaluó 7

alternativas usando MATLAB y concluyó que la mejor opción es la Distribución de Weibull, resalta la replicabilidad del método debido a que, una vez escrito el código, podrá ser utilizado en otras aplicaciones.

1.5. Justificación y Objetivos

El presente estudio tiene justificación práctica debido a que aplicó conocimientos

teóricos desarrollados por la ingeniería de confiabilidad en el sector de telecomunicaciones. Se trazó por objetivo determinar el modelo matemático que modele la Confiabilidad en base a aprovechar el historial de fallas de los LNAs de una red satelital VSAT banda Ku operando en zonas rurales de territorio peruano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la recolección de datos los datos de la población fueron de 1500 LNAs operando en zona rural del Perú y del mismo modelo, donde la Muestra no probabilística de 500 LNAs. Se recopiló en las bases de datos información sobre las fallas presentadas en los LNAs incluidos en la muestra de estudio. Se entiende como falla, aquella donde el LNA tuvo que ser reemplazado.

Se organizó la información de falla en tabla de Excel, realizando la prueba de Ajuste de Bondad con ayuda de Minitab, para identificar la distribución de probabilidad a la que mejor se ajustan los datos de falla de las LNAs. Se calculó los parámetros de la distribución de Weibull y se formuló el modelo matemático de Confiabilidad para las LNAs con lo que se calculó el valor de la Confiabilidad al 5to año

3. RESULTADOS

El modelo de LNA empleado en cada una de las estaciones remotas de la red VSAT banda Ku es el Universal-Ku Band PLL LNA, Part/Number

E0001106-0001 cuya imagen se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Ku Band Universal PLL LNA Fuente: Datasheet Fabricante Idirect



Los datos recopilados sobre las averías presentadas en los LNAs de la red satelital VSAT, ver Tabla 1, permiten apreciar que de los

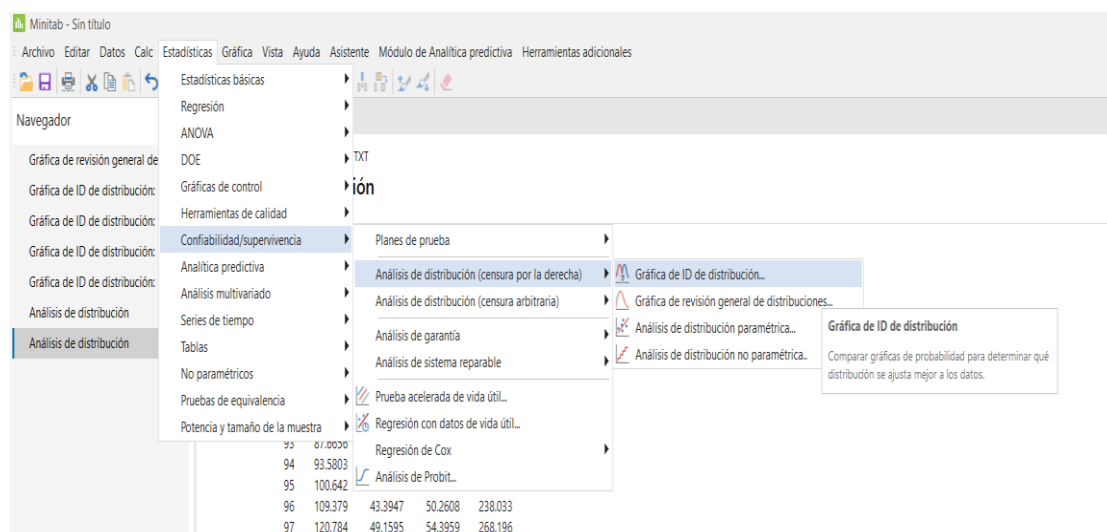
500 LNAs que conforman la muestran en un periodo de observación de 33 meses fallaron 80 unidades de forma total.

Tabla 1
Tiempo de Falla en LNAs

N°	Falla (años)	N°	Falla (años)	N°	Falla (años)	N°	Falla (años)	N°	Falla (años)
1	0.0120	17	0.5786	33	1.3600	49	1.9549	65	2.36
2	0.0412	18	0.5839	34	1.3600	50	1.9578	66	2.43
3	0.0721	19	0.6582	35	1.3900	51	1.9690	67	2.43
4	0.1004	20	0.6999	36	1.3200	52	2.0090	68	2.78
5	0.1298	21	0.7993	37	1.4334	53	2.0100	69	2.95
6	0.1733	22	0.8193	38	1.5846	54	2.0200	70	2.95
7	0.2345	23	0.8296	39	1.6645	55	2.0200	71	2.96
8	0.2643	24	0.8843	40	1.6895	56	2.0400	72	3.03
9	0.3145	25	0.9116	41	1.7232	57	2.0400	73	3.05
10	0.3411	26	1.0200	42	1.7359	58	2.0500	74	3.07
11	0.3528	27	1.0600	43	1.7551	59	2.0500	75	3.07
12	0.4188	28	1.0600	44	1.7651	60	2.0600	76	3.12
13	0.4218	29	1.1100	45	1.7958	61	2.1100	77	3.13
14	0.4614	30	1.0900	46	1.8900	62	2.1300	78	3.28
15	0.5013	31	1.2100	47	1.9412	63	2.1300	79	3.29
16	0.5685	32	1.2700	48	1.9532	64	2.2019	80	3.63

Con ayuda del Minitab se procederá a realizar la prueba de ajuste de distribución a los valores de las fallas de LNAs.

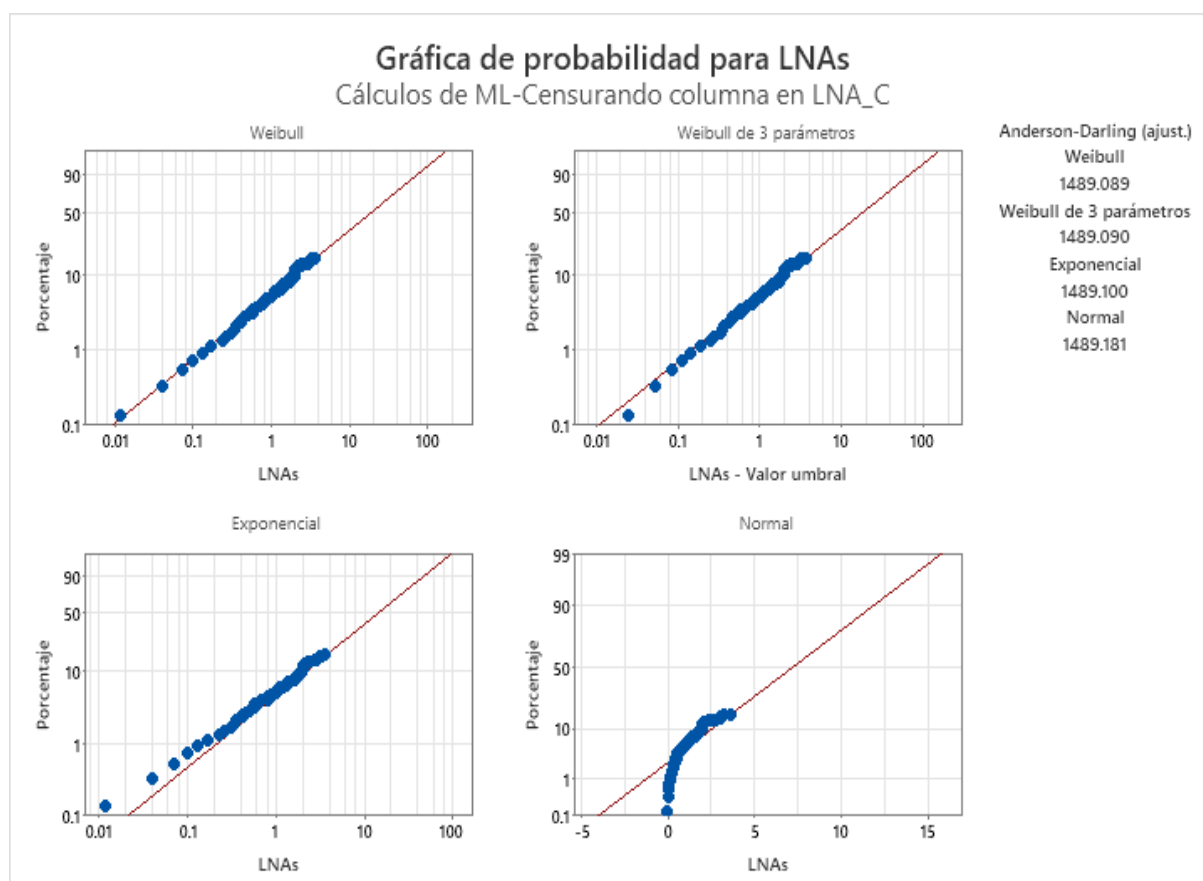
Figura 2
Ruta por seguir en Minitab para realizar la prueba de ajuste de distribución



De la prueba de ajuste de distribución en Minitab, aplicada a los datos de fallas de las LNAs, Tabla 1, se obtiene que la Distribución de Weibull presenta un mejor ajuste respecto a la Distribución de Weibull de 3 parámetros, Exponencial y Normal ya que posee el menor

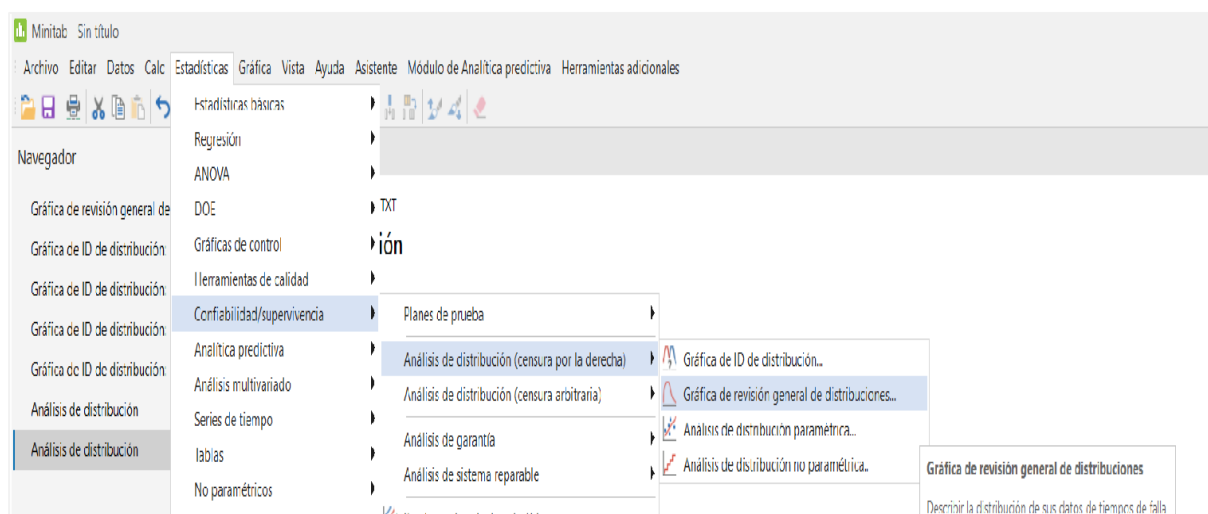
valor para el estadístico de Anderson-Darling, 1489,089. De lo anterior se trabajará con la Distribución de Weibull para establecer el modelo de confiabilidad para las LNAs, Figura 3.

Figura 3
Prueba de ajuste de Distribución de los datos de falla de LNAs



Los parámetros de la Distribución de Weibull fueron obtenidos usando Minitab, ver Figura4.

Figura 4
Ruta por seguir en Minitab para calcular los parámetros de la Distribución de Weibull



En la Figura 5, se observa que el parámetro de Forma es de 0.863057 y de Escala es 28,2274.

Figura 5
Parámetros de la Distribución de Weibull. Fuente: Minitab



Con los valores anteriores y usando la fórmula de la Distribución de Weibull, se procede a reemplazar en la ecuación la cual queda definida de la siguiente manera:

$$e^{-\left(\frac{t}{28.2274}\right)^{0.863057}}$$

Usando la fórmula anterior, se procedió a calcular el valor de confiabilidad del LNA para dentro de 5 años, lo cual arrojó un valor de 0,85824 o 85,824 %.

4. DISCUSIÓN

El estudio arrojó que la distribución de Weibull representa la mejor alternativa para modelar la confiabilidad del dispositivo electrónico LNA lo cual coincide con lo hallado en las investigaciones realizadas por Ramirez (2014) y Rosado (2017), resaltando que fueron realizados en campos distintos.

Respecto a los resultados obtenidos de usar el modelo matemático hallado, desafortunadamente no se encontró estudios de confiabilidad realizados sobre LNAs con lo cual se pueda cotejar el valor de la predicción.

5. CONCLUSIÓN

Se comprobó que la distribución de Weibull representa la mejor alternativa para hallar el modelo matemático que modele la Confiabilidad de los amplificadores de bajo ruido usados en terminales VSAT instaladas en zonas rurales del Perú, lo cual permitirá una mejor estimación de los presupuestos de proyectos de telecomunicaciones que emplean sistemas VSAT, la cantidad de LNAs a destinar como

repuesto y la confiabilidad de reusar dicho LNAs en otros proyectos.

De acuerdo con el modelo matemático obtenido usando la distribución de Weibull, el amplificador de bajo ruido o LNA tendrá una Confiabilidad de aproximadamente 85% al término de 5 años de operación, lo cual lo hace recomendable para ser reutilizado en otros proyectos de comunicaciones VSAT.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abernethy, R. (2004). The New Weibull Handbook 5th edition. USA. R.B Abernethy
- Beard, C. y Stallings, W. (2015). Wireless Communication Networks and Systems. USA. Pearson.
- Frenzel, L (2016). Principles of Electronic Communication Systems, 4th edition. USA. McGraw-Hill.
- Jiang, R. (2015). Introduction to Quality Reliability Engineering. USA. Springer.
- Maral, G (2003). VSAT Networks. USA. Wiley & Sons
- Olorunfunmi, M. (2014). Satellite Communication Engineering. USA. CRC Press.
- Oppenheim, A., Verghese, G. (2016). Signals, Systems & Inference. USA. Pearson.
- Paredes, C. (2012). Pronóstico de fallas e implementación plan de gestión Confiabilidad de repuestos críticos en la minería de Hierro. Chile. Universidad Austral de Chile.
- Ramírez, S. (2014). Datos de Falla. Colombia. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia.
- Roddy, D. y Coolen, J. (2014). Electronic Communications. India. Pearson
- Rosado, R (2017). Evaluación de métodos para determinar la confiabilidad mediante la distribución de Weibull: caso Planta San Antonio. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Tongdan, J. (2019). Reliability Engineering and Services. USA. Wiley.
- Villanueva, M (2017). Gestión del Mantenimiento basado en la confiabilidad de las redes del subsistema de distribución eléctrico 22.9/13.2 Kv de San Gabán – Ollachea. (Tesis de maestría). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Yang, G. (2007). Reliability Engineering. USA. Jhon Wiley & Sons.
- Yañez, M., Gómez, H. y Valbuena, G. (2004). Ingeniería de Confiabilidad y Análisis

Probabilístico de Riesgo. Venezuela.
Reliability and Risk Management