

Centro de Enseñanza Técnica y Superior
Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja
California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



**Rediseño de fiabilidad de prueba de radio frecuencia en
manufactura de teléfonos empresariales.**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Rosario Alan Álvarez Gaxiola

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México, 2020.

TITULO DE TESIS

Tesis/Proyecto de aplicación para obtener el grado de Maestro en
Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Rosario Alan Alvarez Gaxiola

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>

Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Ricardo Martínez Soto

Coordinador del Posgrado en Ingeniería

Rosario Alan Alvarez Gaxiola © 2020

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor

Resumen de la tesis que presenta **Rosario Alan Alvarez Gaxiola** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería con orientación en:

Rediseño de fiabilidad de prueba de radio frecuencia en manufactura de teléfonos empresariales

Resumen.

El propósito de esta investigación está basado en aumentar la fiabilidad y productividad de un equipo de prueba eléctrica retando el status quo del diseño de la prueba de radio frecuencia, el cual tiene como propósito realizar las pruebas de radio frecuencia (potencia radiada) a los teléfonos empresariales producidos en la compañía. La metodología utilizada fue colocar la antena de medición en tres posiciones y obtener datos, estos datos fueron obtenidos al correr experimentos con 2 unidades muestra certificadas, las cuales fueron probadas 300 veces cada una en cada posición, una vez obtenidos los datos de las corridas experimentales fueron utilizados estadísticos descriptivos para obtener la media, desviación estándar y su varianza de cada posición, después fue realizado un estadístico comparativo para obtener cual posición nos resultaba con mayor ganancia en cuanto a la potencia radiada, para validar este rediseño fue calculado un intervalo de confianza al 95% de las medias muestrales de potencia radiada. Para validar su fiabilidad y el aumento de su productividad y el aumento de la eficiencia general del equipo OEE, fue tomada una muestra de 25 días de producción posteriores a la instalación del nuevo equipo, a estos datos les fue realizado un estadístico descriptivo para obtener la media, desviación estándar y varianza. Posteriormente fueron calculados dos intervalos de confianza al 95%, uno para validar la mejora y el otro para saber cuánto mejoro la potencia radiada. La productividad de la línea fue calculada en cuanto al plan de producción, así como el OEE del equipo. Los objetivos de esta investigación son aumentar la productividad igual o mayor al 95% y aumentar el OEE igual o mayor al 90%.

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Palabras clave: Productividad, Fiabilidad, Prueba eléctrica, Radio frecuencia.

Abstract of the thesis presented by **Rosario Alan Alvarez Gaxiola** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in engineering with orientation in

Redesign of reliability radio frequency test in manufacturing business phone

Abstract.

The purpose of the investigation is based on increasing the reliability and productivity of an electrical test equipment by challenging the status quo of the design of the radio frequency test, which purpose to perform radio frequency (radiated power) tests on telephones. produced in the company. The methodology used was to place the measurement antenna in three positions and obtain data, these data were obtained by running experiments with 2 certified sample units, which were tested 300 times each in each position, once the data from the experimental runs had been obtained. We used descriptive statistics to obtain the mean, standard deviation and its variance of each position, then a comparative statistic was performed to obtain which position was with the greatest gain in terms of radiated power, to validate this redesign a confidence interval was calculated at 95% of the sample means of radiated power. To validate its reliability and the increase in its productivity and the increase in the general efficiency of the OEE equipment, a sample of 25 days of production was taken after the installation of the new equipment, a descriptive statistic was performed on these data to obtain the mean, standard deviation and variance. Subsequently, two 95% confidence intervals were calculated, one to validate the improvement and the other to know how much the radiated power improved. The productivity of the line was calculated in terms of the production plan, as well as the OEE of the equipment. The productivity of the line was calculated in terms of the production plan, as well as the OEE of the equipment. The objectives of this research are to increase productivity equal to or greater than 95% and to increase OEE equal to or greater than 90%.

Abstract approved by:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Keywords: Productivity, Reliability, Electrical test, Radio frequency.

Dedicatoria

A mi esposa e hija, a mis padres y hermanos por su apoyo y ánimo los cuales me dieron día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mis amigos y compañeros de trabajo por el apoyo y los conocimientos compartidos durante la maestría.

Agradecimientos.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a:

A la Institución CETYS Universidad por haberme dado la oportunidad de formar parte de su programa de maestrías y apoyos, permitiéndome culminar esta Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología “Conacyt” por el incentivo del programa de becas en la industria concedida para la realización de la presente maestría.

Al Doctor Alejandro Guzmán Ocegueda por su paciencia, consejos y dirección en esta tesis.

Las enseñanzas brindadas por todos y cada uno de los maestros de CETYS Universidad del programa de maestrías, a través de sus enseñanzas y disposición me permitieron continuar con mi desarrollo.

A la Compañía Foxconn de Baja California y a la Compañía Poly Tijuana por permitirme participar en el programa de becas en la industria y elaborar ejercicios prácticos basados en su operación.

Tabla de contenido

	Página
Resumen español.....	iii
Resumen inglés.....	iv
Dedicatorias.....	v
Agradecimientos.....	vi
Tabla de contenido.....	vii
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	2
3. Justificación.....	22
4. Pregunta de investigación	23
5. Hipótesis.....	24
6. Objetivo.....	25
7. Metodología.....	26
8. Resultados.....	29
9. Discusión de resultados.....	41
10. Conclusión.....	43
11. Lista de referencias bibliográficas.....	45

Lista de figuras

Figura		Página
1	Diagrama de flujo de desarrollo de productos	6
2	Pareto de rechazos en estaciones de prueba corrida AB	9
3	Bosquejo equipo de radio frecuencia	10
4	Interior cámara equipo de RF.....	11
5	Pareto modos de falla en equipo de RF	11
6	Reflexión de una onda	18
7	Antena de foco primario y antena de foco Cassegrain	19
8	Refracción aire- vidrio- aire	20
9	Antena posición original lado izquierdo con orientación media	27
10	Antena posición central media superior	27
11	Antena posición central lado derecho con orientación media	28
12	Pareto modos de falla en equipo de RF	29
13	Diagrama a bloques conexiones	31
14	Pareto modos de falla en el equipo de RF en producción	35

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Tabla de los métricos de desempeño evento AB	8
2	Tabla sumario resultados evento AB equipo RF	29
3	Tabla sumario de datos por modo de falla evento AB.....	29
4	Tabla perdida de conexiones y cables total en el equipo.....	30
5	Tabla de resultados de la unidad certificada “Golden 1”.....	32
6	Tabla de resultados de la unidad certificada “Golden 2”.....	32
7	Tabla de promedios Golden 1 y Golden 2.....	32
8	Tabla de resultados productividad producción 29-Jun al 30-Jul.....	34
9	Tabla de Resultados adherencia y OEE 29-Jun al 30-Jul	35
10	Tabla de Sumario de datos por modo de falla en producción ..	35
11	Tabla de Sumario de datos 25 días de producción	36
12	Tabla sumario resultados diferencias evento AB, Experimentos y Producción	37
13	Tabla sumario resultados evento AB, experimentos y producción	42
14	Tabla Resultados productividad, adherencia y OEE en producción 29-Jun al 30-Jul	43

1. Introducción

La finalidad de toda empresa es crecer, desarrollarse continuar siendo competitivo, productivo e innovar en un mercado globalizado; desde la base con la obtención de la materia prima para la fabricación de productos, hasta el término de ellos. A lo largo de este proceso, la cadena productiva busca adoptar programas administrativos y productivos más eficientes cumpliendo con las exigencias de los consumidores. Dentro de las estrategias de la compañía está el realizar internamente procesos confiables, eficientes de manufactura y prueba eléctrica, con el fin de satisfacer a nuestros clientes internos y externos proveyéndoles productos y servicios con la más alta calidad y los mejores costos de operación.

El presente proyecto de investigación fue realizado en una empresa maquiladora especializada en el diseño y fabricación de productos de comunicación en Tijuana Baja California, su propósito es mejorar la fiabilidad y productividad de un equipo de prueba eléctrica de radio frecuencia antes de iniciar con la producción en masa “MP” de teléfonos empresariales con protocolos de comunicación DECT, teniendo como base el evento piloto de ingeniería, aceptación de la construcción, (acceptance building “AB”), donde retaremos el status quo del equipo rediseñando hardware proponiendo tres posiciones de la base de prueba, antena y ruteo de cables dentro del equipo, en la parte de software de prueba modificando el algoritmo de prueba de conectividad y medición de radio frecuencia. En base a esto fue realizado un estudio estadístico comparativo del rediseño donde fueron validados con intervalos de confianza. Un método importante es la eficiencia global del equipo “OEE”, el cual pretende mejorar la productividad a través de la identificación de oportunidades en sus procesos, las cuales estarán reflejadas de una manera más clara a través del uso de este método, dichas oportunidades fueron visualizadas y calculadas en los tres factores determinantes en el OEE: 1) Disponibilidad, 2) Desempeño y 3) Calidad.

2. Antecedentes

El diseño de un producto por definición es el proceso de crear o mejorar un producto aprendiendo de las necesidades de los consumidores y examinando productos similares disponibles. (Mital, Desai, Subramanian, 2014). El diseño de un producto parte de la generación de una idea, seguida del desarrollo de las características, desarrollo de producto, prueba de producto y manufactura para desarrollarlo. (Einstein, 2015).

A continuación, les comparto el concepto de equipos de prueba eléctrica y su historia en el mundo.

Equipos de prueba eléctrica.

Los sistemas de prueba automatizados (ATE, por sus siglas en inglés) son utilizados para probar la funcionalidad y el rendimiento de componentes electrónicos, subconjuntos o sistemas funcionales completos en el momento de la producción y/o durante la vida útil del producto para garantizar la operatividad. Los requisitos para probar el dispositivo, la placa, el subensamble o el sistema variarán de simples a complejos, y el enfoque para diseñar un sistema de prueba puede basarse en hardware y software personalizado o patentado, o en un servicio tecnológico comercial disponible. (Stephen, 2018).

El avance tecnológico y su historia.

Los sistemas comerciales de pruebas aparecieron por primera vez en el mercado a fines de los años 60. Estos sistemas utilizaron arquitecturas digitales, analógicas y de conmutación de propiedad exclusiva y fueron implementados por una amplia gama de clientes para la prueba funcional y la verificación de productos de alto valor y de misión crítica como en la electrónica aviónica. (Stephen, 2018). El desarrollo de las tecnologías, en el último siglo, ha dado un impulso notable a nuevos medios de comunicación, instrumentos de medición y productos consumibles para el ser humano tan relevantes a través de los años han ido mejorando. (VLSI Research Inc, 2006).

El uso de una metodología sistemática para el desarrollo de equipos o bancos de prueba, tanto de conformidad como de Inter operatividad genera una mayor eficiencia en su desarrollo. (Velarde, Sánchez, Soret, 2003). A ello contribuyen tanto la existencia de una arquitectura de componentes e interfaces bien definidos, donde varios de sus elementos pueden ser reutilizados, como la aparición de diversas herramientas comerciales automatizando diversas fases del proceso. Muestran cómo es posible sistematizar el desarrollo de dichos sistemas mediante el uso de una arquitectura genérica, empleando interfaces bien definidos durante el desarrollo.

El utilizar herramientas de uso comercial y software de NI como Test Stand y LabVIEW tiene una ventaja importante dentro de un sistema de prueba, teniendo flexibilidad al modificarse o adaptarse a los requisitos del cliente. (Draghiciu, Morgos, Burca, Boila, 2018). El sistema de prueba es accesible y brinda soluciones de problemas en caso de mal funcionamiento. En el rack de equipos rápidamente pueden instalar o desinstalar dispositivos, esto lo defiende la aplicación deseada. Junto con la evolución de la tecnología, aparecen nuevos dispositivos de medición, tecnologías innovadoras y eficientes para medir parámetros eléctricos y funcionales. El proceso de prueba es complejo, confiable, seguro y fácil de monitorear.

Prueba de un producto.

La prueba de un producto es una forma indirecta de garantía para el consumidor final. En el entorno de manufactura los sistemas de prueba están divididos en tres categorías. (Draghiciu, Morgos, Burca, Boila, 2018).

1. Sistemas de prueba manuales.
2. Sistemas de prueba semiautomáticos.
3. Sistemas de prueba totalmente automatizados.

A continuación, una descripción breve de los tres tipos de sistemas.

1. Sistemas De Prueba Manual.

Un sistema de prueba manual depende completamente del factor humano para todas las funciones de prueba. Las conexiones entre el producto probado y los instrumentos son manualmente, a través de cables de prueba. Los operadores de este sistema de prueba deben tener experiencia para conocer con precisión los requisitos de la prueba. Estos operadores suelen ser los ingenieros de prueba o los del departamento de investigación y desarrollo (R&D). Los resultados de esta prueba son registrados manualmente por el operador e ingresados en una base de datos. Este enfoque es muy flexible porque permite cambios rápidos a los requisitos del cliente, pero el tiempo de prueba es alto, el rendimiento de este sistema no es tan repetible por el error humano. (Draghiciu, Morgos, Burca, Boila, 2018).

2. Sistemas De Prueba Semiautomáticos.

Los sistemas de prueba semiautomáticos son los sistemas de control más comunes utilizados en investigación, desarrollo, diseño y pruebas de producción. Estos sistemas de prueba utilizan este enfoque de control, tienen porciones manuales para flexibilidad cuando sea necesario y secciones automatizadas para registrar y centralizar los datos medidos. Un sistema de prueba semiautomático puede requerir a el operador conectar manualmente el dispositivo bajo prueba o instruir al operador los pasos de procedimiento y registrar automáticamente los resultados. (Draghiciu, Morgos, Burca, Boila, 2018).

Las Ventajas De Un Sistema De Prueba Semiautomático Son:

- ❖ Costos de desarrollo relativamente bajos, según el nivel de automatización.
- ❖ Flexibilidad media, algunas porciones pueden cambiar fácilmente.
- ❖ Tiempo promedio de desarrollo.
- ❖ Es posible requieran calibraciones del sistema para ciertos instrumentos individuales.
- ❖ La cantidad de productos de prueba aumenta en comparación con los sistemas de prueba manual.

- ❖ Mayor repetibilidad lo lleva a una mejor precisión. (Draghiciu, Morgos, Burca, Boila, 2018).

3. Sistemas De Prueba Automáticos.

El sistema de prueba totalmente automatizado pertenece a las áreas complejas de pruebas industriales de experiencia y validación de diseño. Estos sistemas de prueba rara vez son utilizados en el proceso de investigación y desarrollo. Todos los instrumentos, interruptores de señal y conexiones al dispositivo probado son controlados por una computadora. En algunos sistemas de prueba, requieren al operador inserte manualmente el producto probado en un accesorio de prueba, pero otros sistemas avanzados tienen un brazo robótico o equipos automatizados como transportadores para la entrada del producto en la prueba. El proceso de automatización de pruebas completas es el método de control más costoso y tiene un mayor tiempo de desarrollo, pero ofrece una gran cantidad de productos probados y las mediciones más precisas y replicables al eliminar casi por completo error del factor humano de la prueba. El operador debe tener un nivel de experiencia inferior al de los otros sistemas de prueba. (Draghiciu, Morgos, Burca, Boila, 2018).

Durante el desarrollo e introducción de productos dentro de la compañía tenemos diferentes etapas de construcción, las cuales a continuación enlistamos:

1. Prototipos de Ingeniería, Engineering Building (EB).
2. Validación de Ingeniería, Validation Building (VB).
3. Aceptación de la construcción, Acceptance Building (AB).
4. Primeros artículos disponibles, First Available (FA).
5. Producción en masa, Mass Production (MP).

Algunos productos pueden tener mayores etapas de evaluación, esto depende de la complejidad del producto. (Einstein, 2015). La Figura 1 muestra el proceso de desarrollo e introducción de un producto.

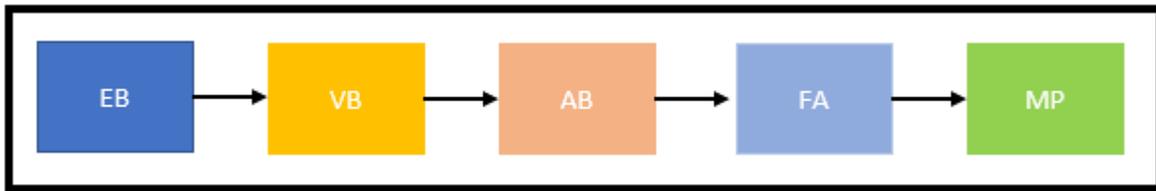


Figura 1. Diagrama de flujo de desarrollo de productos. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de prueba eléctrica es de alta importancia para el desarrollo e introducción de productos, garantizando la confiabilidad de cada parte o subensamble instalado, además la funcionabilidad del producto terminado. Es por ello la importancia de él ingeniero de prueba eléctrica tenga participación en cada etapa del desarrollo e introducción del producto, con esto tendríamos una madurez de la plataforma en la etapa de AB. validando cumplir con las integraciones al proceso de prueba.

Indicador de la eficiencia global de los equipos OEE.

El OEE indica con cuánta efectividad las máquinas están siendo utilizadas comparada con la máquina ideal (OEE = 100%). Las pérdidas del proceso son todas aquellas afectaciones en la eficiencia y por lo tanto no sea del 100% y las clasificamos en 3 grupos: (Muchiri, Pintelon, 2008).

- ❖ **Pérdidas por Disponibilidad.** Aparecen siempre cuando son producidos paros de la máquina (averías, cambio de formato, falta de material, falta de personal, arranque de máquina, etc.).
- ❖ **Pérdidas por Rendimiento.** Cuando la máquina no ha parado, pero fabrica a una velocidad inferior a la teórica. Incluye las micro paradas (paradas de muy poca duración, pero muy frecuentes) y el funcionamiento degradado (reducción de velocidad por problemas de calidad, por inicio de fabricación, etc.).
- ❖ **Pérdidas por Calidad.** Cuando fabricamos un producto no conforme, hemos consumido tiempo de la máquina y hemos incurrido en pérdidas por calidad. También ocurre cuando reprocesamos el producto defectuoso.

El cálculo del factor OEE es complementado con las siguientes ecuaciones; con la ecuación 3 calculamos el factor de desempeño, ecuación 4 para la calidad y ecuación 5 para la disponibilidad las cuales son presentadas a continuación.

$$\text{Desempeño} = \frac{(\text{Cantidad de Piezas Producidas})}{(\text{Cantidad de Piezas Planificadas})} \times 100 \quad (3)$$

Ecuación 3. Desempeño. Fuente: (Muchiri P. and pintelon L. 2008).

$$\text{Calidad} = \frac{(\text{Producción "OK"})}{(\text{Producción Total Real})} \times 100 \quad (4)$$

Ecuación 4. Calidad. Fuente: (Muchiri P. and pintelon L. 2008).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(\text{Tiempo Dsponible} - \text{Tiempo muerto})}{(\text{Tiempo Disponible})} \times 100 \quad (5)$$

Ecuación 5. Disponibilidad. Fuente: (Muchiri P. and pintelon L. 2008).

El producto de las ecuaciones 3, 4 y 5 determina el valor de la eficiencia general de los equipos OEE, según la ecuación 6.

$$\text{OEE} = \text{Desempeño} \times \text{Calidad} \times \text{Disponibilidad} \quad (6)$$

Ecuación 8 OEE. Fuente: (Muchiri P. and pintelon L. 2008).

Eficiencia Global de los Equipos “OEE”.

El OEE es un indicador basado en medir la eficiencia del trabajo de un equipo o proceso de equipos. El OEE también puede entenderse cómo la relación existente entre el tiempo teóricamente disponible en fabricar las unidades obtenidas (sin paradas, a la máxima velocidad y sin unidades defectuosas) y el tiempo realmente utilizado. (Camacho, Alba, Hernandez, 2015). Realizar el análisis del OEE permite identificar oportunidades de mejora en el proceso de prueba, estas oportunidades son reflejadas en los tres factores del OEE: disponibilidad, desempeño y calidad. (Camacho, Alba, Hernandez, 2015).

Resultados del Evento AB (Pilot).

La corrida de ingeniería AB fue realizada del 11 al 28 de mayo de 2020 como evaluación piloto del proceso de producción, manufactura y prueba eléctrica,

durante la introducción de productos en la compañía. Las evaluaciones fueron identificadas y agrupadas de acuerdo con el tipo de proceso, es decir, las evaluaciones a continuación descritas son del proceso de prueba eléctrica, esto con el fin de identificar oportunidades de mejora.

Análisis estadístico del evento AB (Pilot).

A continuación, son presentados los datos estadísticos de los métricos de desempeño utilizados en la compañía los cuales son: productividad, calidad y adherencia, así como el OEE de los equipos de prueba, la tabla 1 nos muestra los resultados de la corrida de ingeniería AB realizada del 11 al 28 de mayo, basados en las unidades rechazadas fue construido un Pareto para ver la distribución de los efectos como sus posibles causas, el 20% de las causas totales hace sean originados el 80% de los efectos y rebotes internos. El principal uso de este diagrama fue establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de la organización, el diagrama mostrado en la figura 2 facilitó el estudio de las fallas.

Tabla 1. Métricos de desempeño evento AB. Fuente: Elaboración propia.

Teléfonos empresariales		Sumario de resultados corrida piloto de ingeniería AB							
		Unidades producidas	Unidades Buenas	Unidades Malas	Productividad	Tiempo Perdido	Calidad	OEE	Adherencia
Op.	Proceso								
5	Equipo RF	956	820	136	85.77%	408.00	90.70%	78.46%	85.80%

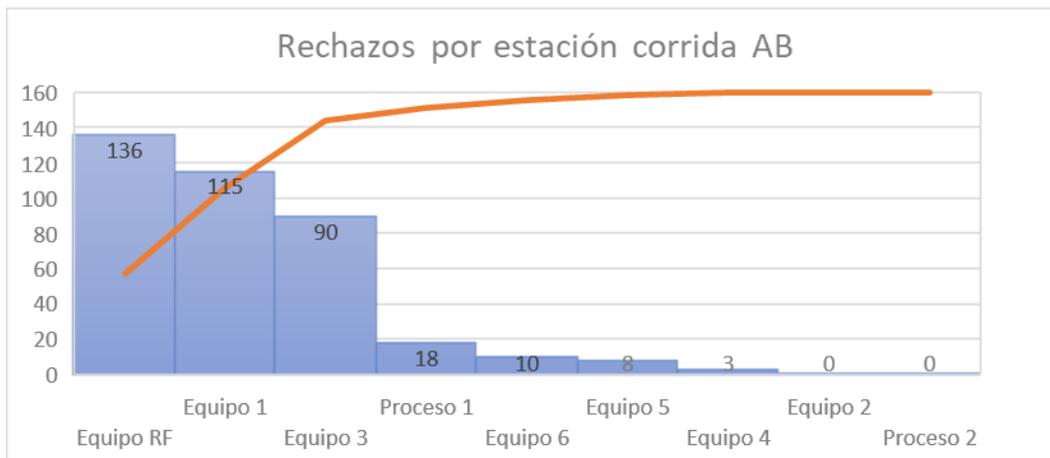


Figura 2. Pareto rechazos corrida AB. Fuente: Elaboración Propia.

En base al Pareto de rechazos AB en donde es visible un alto índice de rechazos en el equipo de radio frecuencia RF, fue realizado un análisis estadístico de los modos de falla los cuales son presentados en un Pareto de segundo grado. Pero antes definiremos al equipo de prueba de RF y sus características.

Equipo de prueba de radio frecuencia.

Los equipos de prueba de radio frecuencia RF fueron desarrollados originalmente para realizar las pruebas eléctricas funcionales a dispositivos con protocolos de RF, después fueron rediseñados para realizar las pruebas a productos con protocolos de comunicación DECT. Para fines de este proyecto el equipo fue acondicionado para realizar las pruebas a un producto integrado por base DECT, audio y control plasmado en un teléfono empresarial de alta tecnología basado en el sistema operativo Android. Dicho equipo consta de un rack tipo chasis para montar los equipos de adquisición de datos (DAQs), computadora (PC), multímetro (DMM), escáner, sistema de control neumático y una cámara acústica denominada “chamber”, la cual realiza una función similar a la jaula de Faraday, repeliendo las ondas electromagnéticas del exterior de la cámara logrando tener la menor afectación posible en el interior para realizar una prueba confiable. A continuación, en la figura 4 tenemos un bosquejo del equipo radio frecuencia RF en la figura 3.

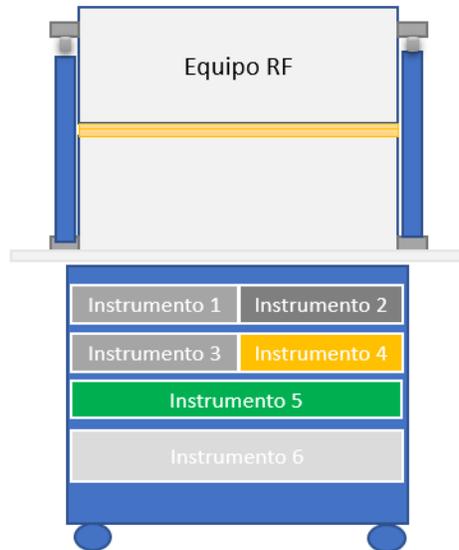


Figura 3. Bosquejo equipo de radio frecuencia. Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Una de las partes más importantes del equipo es la cámara de radio frecuencia, dentro de ella son realizadas las pruebas de funcionalidad del producto, la cámara está construida en su cuerpo mecánico por madera, en su interior tiene un recubrimiento de cobre tipo olla, además tienen hojas de espuma flexible de banda ancha para microondas en este caso como es un producto de comunicación mediante protocolo DECT utilizamos una serie de absorbentes de microondas de banda ancha, ligeros, de espacio libre y de múltiples capas. Los productos están hechos de espuma de poliuretano tratado con carbono y ensamblado en una construcción laminada para generar un gradiente de conductividad controlado. Cada producto tiene su propia frecuencia de corte de gama baja formando la base de la selección basada en la frecuencia de funcionamiento. La reducción de la reflectividad es al menos 17 decibeles “dB” inferior para la energía incidente normal con la elección correcta del absorbente. A continuación, en la figura 5 presentamos el interior de la cámara.

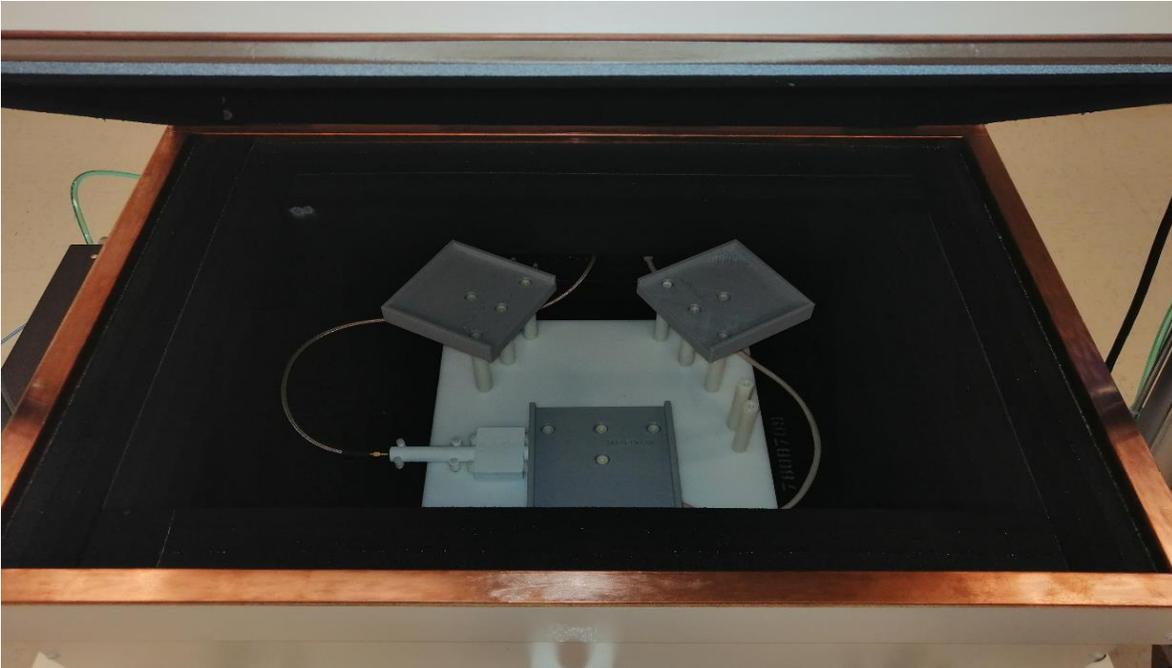


Figura 4. Interior cámara equipo de RF. Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Una vez presentado el equipo de RF y sus características continuamos con el análisis del evento AB con un Pareto primario de los rechazos de los equipos de prueba, encontrando al equipo de RF como el principal ofendedor en cuanto a rechazos o falsos rechazos, basados en esto fueron analizados los modos de falla representados en un Pareto de segundo grado presentado en la figura 5.

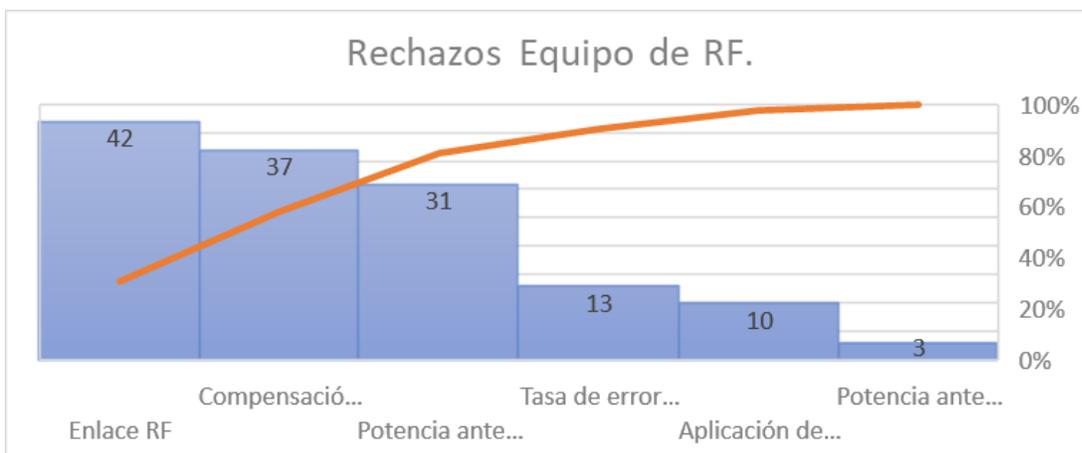


Figura 5. Pareto modos de falla en equipo de RF. Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizado el Pareto de segundo grado fueron identificados cinco modos de tiene relación entre sí y tienden a fallas en conectividad de radio frecuencia y fallas

en la medición de éste, fue necesario realizar un plan de acciones priorizando analizar los datos existentes de las fallas mayoritarias, así como el hardware y software del equipo. Basados en el Pareto fue desarrollado un análisis estadístico de la media, desviación estándar y límites mínimo, máximo y su varianza de cada uno de los modos de falla, para observar la tendencia de los datos.

Protocolo DECT.

DECT o Digital Enhanced Cordless Telecommunications, Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente es un estándar / tecnología de comunicación inalámbrica. Es utilizado en teléfonos inalámbricos digitales, a su vez suelen utilizarse con propósitos domésticos o corporativos, pero también para la transferencia inalámbrica de datos y cuenta con una distancia de operación de alrededor de unos 100 a 200 metros. (Pérez, 2011).

Debido a sus beneficios, DECT ha sido convertida en la tecnología dominante en el mercado para comunicaciones inalámbricas, desplazando mundialmente a otras tecnologías digitales y analógicas. Un claro ejemplo de esto es en 2007 la participación de DECT contra otras tecnologías era de un 55%, llegando a un 80% en 2011, y esperando un 90% para el año 2014. (Pérez, 2011).

Además de las ventajas en la mejora de voz ofrecidos por una comunicación digital en una banda de frecuencia limpia. DECT (no es interferida por hornos a microondas, por ejemplo), existen tecnologías aplicadas para mejorar la calidad de audio como sistemas de cancelación de eco, amplificadores de audio última generación, sistemas de filtrado eléctrico. (Pérez, 2011).

Los productos inalámbricos de Poly funcionan y operan en frecuencias asignadas por el gobierno de cada país o región (conjunto de países) para uso exclusivo de las comunicaciones móviles. De tal forma, estas frecuencias o bandas de operación son distintas de un país o región a otro; como ejemplo la región europea, operan en la banda de 1880 a 1900 MHz, en el país de Estados Unidos de América, opera de 1920 a 1930 MHz y el país de Brasil de 1910 a 1920 MHz. Cada una de las bandas o frecuencias de operación, anteriormente comentadas, tiene un nombre específico,

para Europa es conocida como banda DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications; Telecomunicaciones Inalámbricas Digitalmente Mejoradas), para Estados Unidos como DECT 6.0 o UPCS (Unlicensed Personal Communications Services; Servicios de Comunicaciones Personales sin Licencia) y para Brasil, DECT 1910 – 1920. (Tovar, 2019).

Un producto europeo debe de estar configurado para operar desde 1880 a 1900 MHz y solo debe de utilizarse en los países o regiones donde utilicen esa banda o frecuencia de operación asignada exclusivamente para productos móviles con esta tecnología de comunicación. Por lo tanto, es ilegal operar un producto inalámbrico, como ejemplo un DECT para Europa utilizarlo en Estados Unidos y viceversa, un producto configurado DECT 6.0 o UPCS es para Estados Unidos, es ilegal utilizarlo en la región de europea. Si al enviar productos configurados con bandas de operación diferente a la de cada país, los gobiernos, de esos países, instituciones gubernamentales o privadas pueden poner una queja ante el comité regulador de frecuencia e incluso una demanda monetaria puede ser de millones de dólares en contra de Poly. (Tovar, 2019).

Comunicación por radiofrecuencia, propagación y sus efectos.

Radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia, ondas de radio o RF, aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz. El hercio unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y corresponde a un ciclo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro pueden ser transmitidas aplicando corriente alterna originada en un generador a una antena. Todo sistema de telecomunicación debe diseñarse para obtener una relación señal – ruido mínimo garantizando su funcionamiento. (De la Garza, 2006).

Antenas.

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y capturar ondas electromagnéticas, las antenas son usadas como interfaz entre un dispositivo guía

y el espacio libre tanto para transmisión como para recepción. Cuando está transmitiendo genera un campo electromagnético al momento de aplicarse un voltaje. En el caso de la recepción el proceso es el inverso; es decir, al momento de captar un campo electromagnético la antena genera como respuesta un voltaje. El tamaño de las antenas es muy importante. Éste está relacionado con la longitud de onda de la señal y es por lo general un submúltiplo exacto de ésta mostrado en la ecuación 7. Es por eso a mayores frecuencias, el tamaño de la antena es menor, es decir son inversamente proporcionales. (De la Garza, 2006).

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (7)$$

Ecuación 7. ley de refracción de Snell. Fuente: (Pérez, 2011).

Donde: λ es la longitud de onda, v es la velocidad de propagación y f es la frecuencia de operación. Una antena puede estar representada por medio de su equivalente de Thévenin. (Pérez, 2011).

Tipos de antena.

Por su fabricación, las antenas son agrupadas en 7 grupos principales:

1. Lineales.
2. De lazo.
3. Helicoidales.
4. De apertura.
5. De parche o microstrip.
6. De reflexión.
7. Arreglos.

Parámetros de antenas.

Patrón de radiación.

Es una representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena en función de las coordenadas espaciales. (Pérez, 2011).

Potencia radiada.

Es determinada con la integral del vector de Poynting en una superficie cerrada donde envuelve totalmente a la antena. La ecuación 8 muestra el cálculo de la potencia radiada. (Pérez, 2011).

$$P_{rad} = \oint S \times da \quad (8)$$

Ecuación 8. Potencia radiada. Fuente: (Pérez, 2011).

Eficiencia.

Es una forma de cuantificar las pérdidas de una antena. Distinguidas en tres tipos: reflexión, conducción y dieléctrico. (Pérez, 2011).

Ancho de banda.

Es el rango de frecuencias en el cual opera correctamente la antena. El límite es determinado por la caída a 3 dB, es decir, cuando la energía radiada cae aproximadamente a la mitad de su valor máximo. (Pérez, 2011).

Directividad.

Es definida como la relación entre la potencia radiada en la dirección de máxima radiación y la radiación total de la antena promediada a lo largo del área de la esfera. (Pérez, 2011).

Ganancia.

Es la combinación de la eficiencia y la directividad. Una antena es un elemento pasivo por ende no amplifica señales. La ganancia es expresada en decibeles (dB). (Pérez, 2011).

Impedancia de entrada.

Este parámetro es obtenido al relacionar inversamente el voltaje de entrada a la antena y la corriente producida en ella. Tal como en la ecuación 9. (Pérez, 2011).

$$Z_{in} = \frac{E_i}{I_i} \quad (9)$$

Ecuación 9. Potencia radiada. Fuente: (Pérez, 2011).

El valor de la impedancia es complejo. Por eso depende de la frecuencia. Además, depende de la longitud y la resistencia de radiación de la antena. (Pérez, 2011).

Resistencia de radiación.

Es un componente ficticio encargado de representar la potencia radiada. (Pérez, 2011).

Anchura de haz.

Es un parámetro de radiación ligado a la ganancia. Es el intervalo angular dentro del cual la potencia relativa radiada por la antena es superior a la mitad de la ganancia. (Pérez, 2011).

Polarización.

Es referida a la dirección de la perturbación. Puede ser elíptica (derecha, izquierda), circular (derecha, izquierda) o lineal (vertical, horizontal). (Pérez, 2011).

Comunicación multiruta y sus efectos.

Dícese haber una línea de vista cuando no existen obstáculos entre transmisor y receptor en una ruta directa. Al no existir línea de vista o LOS (Line-of-Sight), la transmisión es de tipo multiruta. En una transmisión de este tipo la señal sufre efectos como difracción, refracción, reflexión y dispersión, los cuales provocan a la comunicación entre transmisor y receptor sea completada por diferentes trayectorias. (Pérez, 2011).

La difracción ocurre cuando la señal cambia de dirección debido al borde de un obstáculo. A pesar de provocar pérdidas este fenómeno ayuda a la transmisión de la señal cuando no tenemos línea de vista LOS. Por otro lado, la refracción también tiene como consecuencia el cambio de dirección; sin embargo, esta es dada cuando la señal pasa de un medio a otro. La refracción es producida siempre y cuando los

dos medios tengan un índice de refracción distinto. Al existir refracción es producido un fenómeno como reflexión. Sin embargo, no siempre existe refracción cuando tenemos la reflexión. La reflexión de una señal es dada cuando la señal choca con un objeto de dimensiones mucho mayores a la longitud de onda, provocando un porcentaje sea transmitido y otro sea reflejado. En el caso de conductores excelentes, la dispersión ocurre cuando la señal choca con objetos de dimensiones pequeñas pero numerosos entre sí, como pueden ser arbustos y señalamientos. Al chocar la señal, ésta es reflejada en varias direcciones y puede provocar un cambio en frecuencia y en la polarización de la onda electromagnética. La dispersión solamente es dada cuando la señal choca con una superficie rugosa. En el caso de hacerlo con una superficie lisa, el fenómeno tiene lugar a la reflexión. Para saber si una superficie es lisa o rugosa tomaremos en cuenta el criterio de Rayleigh. (Pérez, 2011).

La separación entre dos superficies las cuales reflejan la misma señal indica si la superficie es rugosa o no. Si esta separación es mayor a la existente entre la mayor y menor protuberancia de la superficie en análisis dice: ésta es lisa, en caso contrario dice esta es rugosa. Para obtener el valor de separación podemos utilizar la ecuación 10 conocida como el límite de Rayleigh. (Pérez, 2011).

$$\Delta h = \frac{\lambda}{8 \sin \alpha} \quad (10)$$

Ecuación 10. Límite de Rayleigh. Fuente: (Pérez, 2011).

Donde α es el ángulo con el cual choca la señal con el obstáculo, conocido como ángulo de incidencia. (Pérez, 2011).

Las diferentes señales provenientes de las distintas rutas no llegan al mismo tiempo y con la misma intensidad. Éstas sufren retrasos y atenuaciones dependiendo en general de la longitud de la ruta tomada y del modo de propagación. (Pérez, 2011).

Reflexión.

Las ondas de radio tienden a comportarse de la misma manera como el resto de las ondas electromagnéticas, es decir, siguen los principios de óptica. Cuando una onda incide sobre una superficie reflectante, ésta tiende a comportarse como un espejo, es decir, la onda es reflejada formando un ángulo con la perpendicular a la superficie igual al ángulo incidente tal como en la figura 6. (Pérez, 2011).

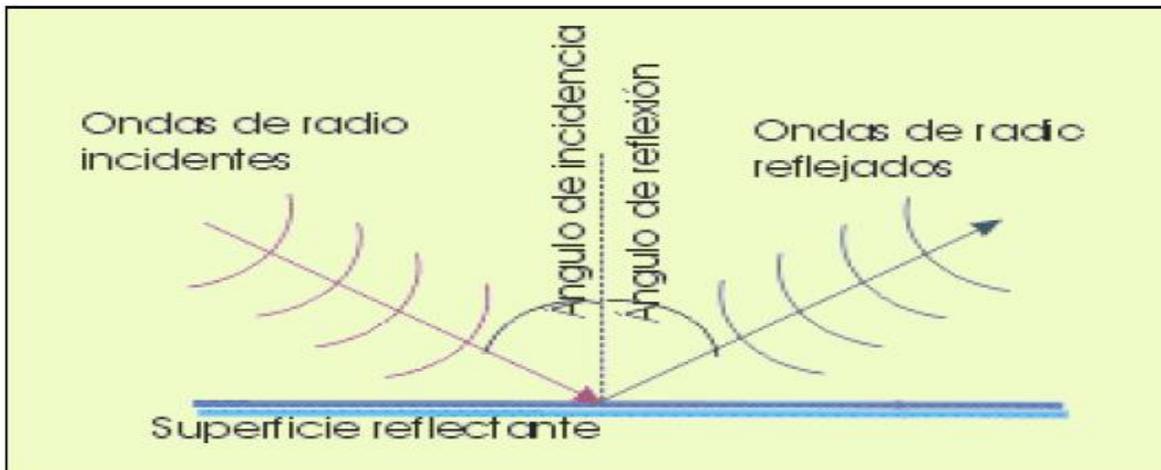


Figura 6. Reflexión de una onda. Fuente: (Pérez, 2011).

El principio de reflexión de las ondas es empleado en el diseño de antenas para dirigir la radiación y concentrarla en un receptor. Si el disco reflector de la antena es diseñado con forma de paraboloides, las ondas de radio procedentes del espacio propagadas en direcciones paralelas reflejadas confluyendo en un punto, por encima de la superficie del disco, colocando un receptor. En este tipo de diseño el receptor se halla en el foco primario y proporciona la máxima apertura para detectar señales débiles. conveniente esta disposición de foco primario. Una solución disponible para estos problemas consiste en colocar los receptores en el foco Cassegrain. Las antenas Cassegrain añaden un reflector secundario concentrando la radiación en un nuevo foco próximo al primer reflector (la superficie de la antena) tal como en la figura 7. De esta forma, el equipo pesado encuentra siempre próximo al centro de gravedad de la antena y le confiere un mayor grado de estabilidad estructural incluso trate de una antena de gran apertura. (Pérez, 2011).

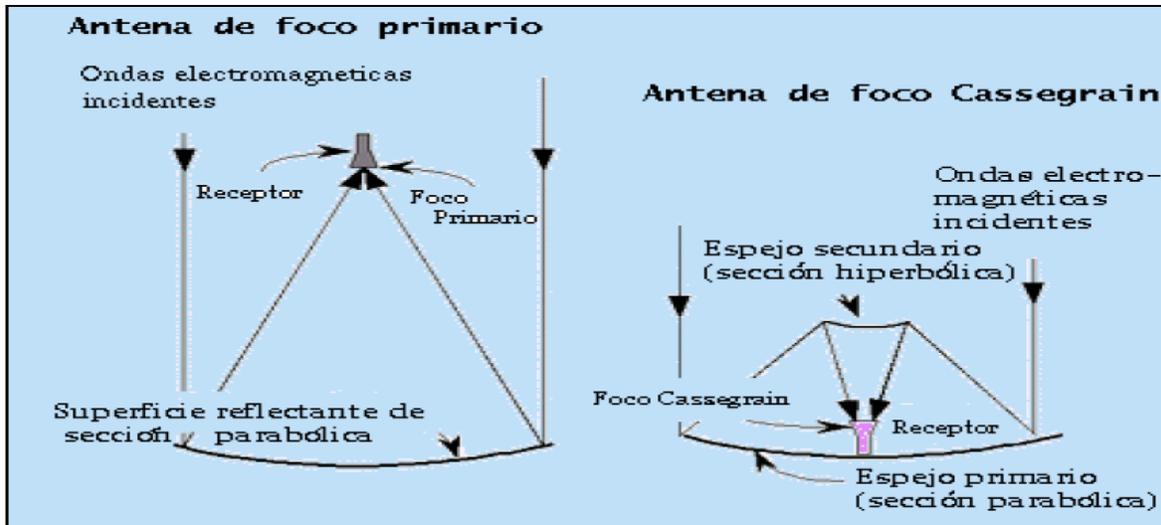


Figura 7. Antena de foco primario y antena de foco Cassegrain. Fuente: (Pérez, 2011).

Refracción.

La refracción es el cambio de dirección o curvatura de una señal electromagnética cuando esta es transmitida de un medio a otro, siempre y cuando estos tengan un índice de refracción diferente, tal y como sucede con la luz. Es decir, la señal electromagnética incide sobre un medio distinto con un ángulo de incidencia (i) y es transmitida dentro de este con un ángulo de transmisión (t). Por lo tanto, la refracción es similar a la difracción en cuanto al cambio de dirección, sin embargo, la segunda es ocasionada por la presencia de un obstáculo y la primera por la transición de un medio a otro. Los ángulos involucrados en la refracción están relacionados por la ley de refracción de Snell. Según la Ley de Snell, la relación entre el ángulo de incidencia (i) de una onda propagada en un medio con índice n_1 , y el ángulo de refracción (r) en un medio con índice n_2 es tal como en la ecuación 11:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad (11)$$

Ecuación 8. ley de refracción de Snell. Fuente: (Pérez, 2011).

De esta forma, si una onda es propagada en el vacío ($n=1$) y pasa a propagarse en un medio, como por ejemplo el vidrio ($n=1.5$), tendremos una refracción de manera cual $\sin i = 1.5 \cdot \sin r$, como podemos ver en la figura 8. Éste lo podemos ver en un

medio óptico. Por ejemplo, cuando sumergimos una varilla recta o un lápiz en el agua podemos apreciar cómo da la impresión de estar quebrado, puesto las ondas atraviesan el agua pasan por un medio con distinto índice de refracción del aire. (Pérez, 2011).

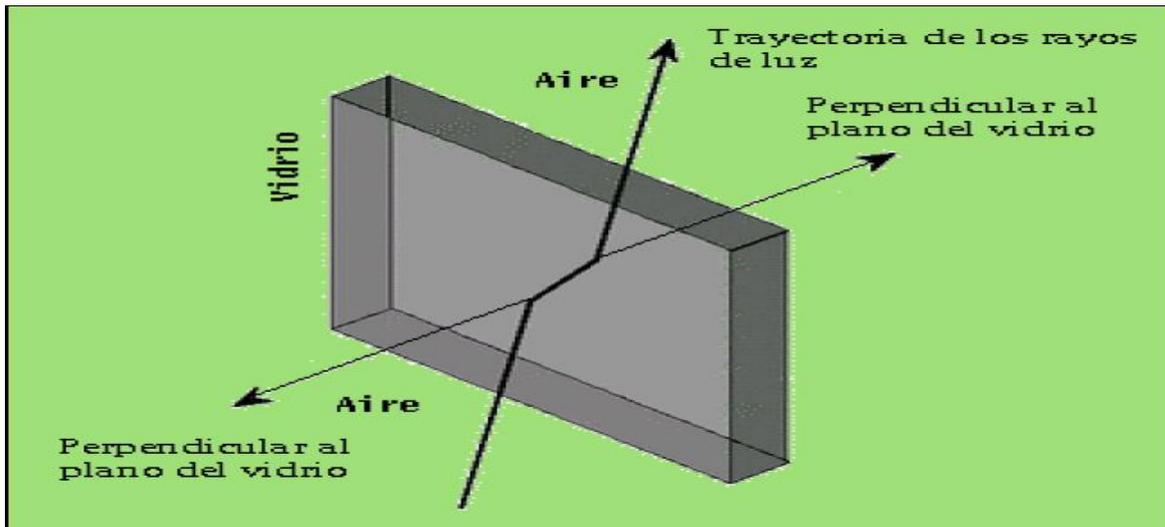


Figure 8. Refracción aire- vidrio- aire. Fuente: (Pérez, 2011).

En general, el índice de refracción de un medio es distinto para longitudes de onda distintas. Es decir, luz de distintas longitudes de onda (o colores) es refractada a diferentes ángulos cuando la luz tiene el mismo ángulo de incidencia. Este efecto es observado al hacer pasar un haz de luz a través de un prisma, por ejemplo, donde cada longitud de onda refracte con un ángulo ligeramente distinto permite observar la luz descompuesta en sus diferentes longitudes de onda. (Pérez, 2011).

Dispersión.

La dispersión ocurre cuando una señal de radio golpea contra una superficie rugosa o áspera y la energía reflejada es difundida o reflejada en varias direcciones. (De la Garza, 2006).

Interferencia y difracción

Las ondas siguen el denominado principio de superposición, cuando dos ondas se encuentran en el espacio son mezcladas en ese punto de encuentro, siguiendo posteriormente cada una de ellas su camino anterior sin producirse ninguna variación ni en su amplitud ni en su frecuencia ni en su fase. (De la Garza, 2006).

La fase de una onda respecto a otra de la misma frecuencia es el alineamiento relativo de sus máximos y sus mínimos. Dos ondas están en fase cuando sus máximos y sus mínimos respectivos coinciden exactamente. Dos ondas están desfasadas 180 grados cuando el máximo de una coincide con el mínimo de la otra. Sí dos ondas coinciden en el espacio, su interacción permanece mientras dura esa coincidencia. Por tanto, si tenemos dos ondas superpuestas y viajando en la misma dirección, su interacción fue permanente, produciendo interferencia, y la onda resultante fue la suma de las dos ondas iniciales. (De la Garza, 2006).

Es importante estudiar los efectos sufridos en la señal del receptor, estos son los mismos sufridos por la señal del transmisor. La relación señal-a-ruido SNR (Signal-to-Noise Ratio) es la encargada de determinar la calidad de la señal recibida en el receptor. Es esta relación la mas importante para determinar los efectos de perdida en un sistema de comunicación. El ruido afecta al sistema de comunicación desde el inicio del procesamiento de la señal en el transmisor hasta está es procesada en el receptor. Los efectos del ruido son de tipo aditivo y logran decrecer la relación señal-a-ruido. En el caso de la telefonía móvil es importante la medición de varios parámetros como la relación señal-a-ruido y la relación señal-a-interferencia. (De la Garza, 2006).

3. Justificación

El realizar este rediseño está fundamentado bajo los resultados obtenidos en el evento de ingeniería AB realizado del 11 al 28 de mayo de 2020 en la compañía, donde la productividad total esperada era igual o mayor al 95%, resultando una productividad total real igual al 68.81% con 136 rechazos en el equipo de RF, de los cuales el 90% están relacionados a la prueba de radio frecuencia. El equipo probador de RF tuvo un OEE del 78.46% teniendo como meta un OEE igual o mayor al 90%. El depurar, mejorar y validar el equipo de prueba eléctrica ayudara para alcanzar las metas de desempeño colectivo e individual en la introducción de productos dentro de la compañía.

La validación de los equipos de prueba durante su etapa de desarrollo aumenta la fiabilidad de la prueba en los procesos de producción, para esto son generados análisis estadísticos de los datos resultantes de cada etapa, buscando tener la mejor fiabilidad y productividad del diseño en las líneas de producción, y sea utilizado tanto en los eventos finales de ingeniería, así como en los eventos iniciales de producción.

Las metas de desempeño establecidas son:

Productividad mayor o igual al 95%.

OEE mayor o igual al 90%.

4. Pregunta de investigación

Durante la introducción de productos existen diferentes etapas de las cuales la etapa de ingeniería piloto AB es en donde son validados todos los procesos implicados en la línea de producción como lo son: materiales, manufactura, producción y prueba eléctrica. De los cuales, los procesos de prueba eléctrica determinan si los procesos anteriores cumplieron con los estándares de calidad y producción. Por lo tanto, de ellos depende juzgar si las unidades son funcionales o no. Durante el evento AB fueron rechazadas 136 unidades en el equipo de RF de las cuales el 90% están relacionadas a las pruebas de radio frecuencia por lo tanto es necesario incrementar su fiabilidad y productividad.

¿Cómo puede incrementarse la fiabilidad y productividad de la prueba de radio frecuencia para teléfonos empresariales?

5. Hipótesis

El diseño de un equipo de prueba de radio frecuencia debe de considerar desde sus primeras etapas de desarrollo a todos los factores externos como señales, ruido, así como los efectos de reflexión, radiación, difracción y dispersión los cuales causan afectaciones durante la transmisión de datos por medio de radio frecuencia. Al conocer anticipadamente estos factores pueden determinar un diseño más fiable. De igual manera puede ser validado mediante análisis estadísticos, para esto son planteadas las siguientes hipótesis.

5.1. Hipótesis Nula.

H_0 : El rediseño de la prueba de radio frecuencia para teléfonos empresariales no mejora la productividad y fiabilidad.

5.2. Hipótesis Alternativa.

H_i : El rediseño de la prueba de radio frecuencia para teléfonos empresariales mejora la productividad y fiabilidad.

6. Objetivos

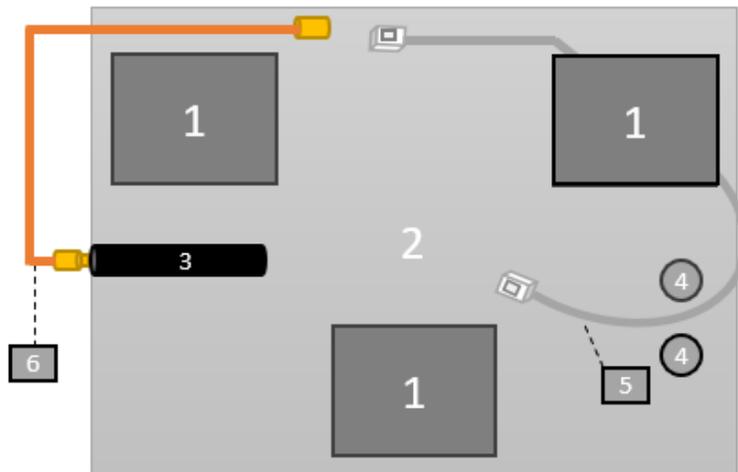
Los objetivos de la investigación fueron:

Incrementar el OEE igual o mayor al 90%.

Incrementar la productividad del equipo de prueba eléctrica igual o mayor al 95%.

7. Metodología

La metodología partió de una investigación documental y de campo. La investigación documental consistió en un análisis estadístico de la corrida de ingeniería AB descrita en antecedentes, en base a los resultados fue necesario identificar los métodos disponibles para incrementar la productividad y fiabilidad del equipo de RF. Uno de los métodos principales es la eficiencia global de los equipos OEE, adherencia, calidad y rendimiento. De igual manera fueron identificadas las principales causas de afectación en la transmisión de radio frecuencia: refracción, reflexión, dispersión, difracción e interferencia. Además, fueron identificados los tipos de antenas: lineales, lazo, helicoidales, apertura, parche o microstrip, reflexión y de arreglos, con sus parámetros: patrón de radiación, potencia radiada, eficiencia, ancho de banda, directividad, ganancia, impedancia de entrada, resistencia de radiación, anchura de haz y polarización. Seguido de una investigación de campo cambiando el equipo de radiofrecuencia desde el diseño de una antena industrial, con información propietaria de la compañía de uso restringido, integrada en el rediseño del probador y funcionalidad validada en el laboratorio de RF en la compañía. Posteriormente integrarla al rediseño de prueba en el piso de producción. La validación de la antena fue realizada con un instrumento de calibración de potencia radiada de 19.5 decibeles (dB). La metodología para probar este rediseño consistió en ubicar la antena en tres posiciones y tomar mediciones con dos unidades certificadas por el laboratorio de RF como unidades muestra "Golden 1" y "Golden 2". Estas unidades fueron probadas 300 veces en cada posición resultando 1800 datos en total, 600 datos por posición, las posiciones propuestas son mostradas a continuación, la figura 9 muestra el esquema original con la antena posicionada del lado izquierdo con orientación media respecto a la base, la figura 10 muestra el esquema con la antena colocada en la parte central media superior y la figura 11 muestra la antena colocada en la parte central con orientación media derecho con respecto a la base.



Donde:

1.- Bases unidad bajo prueba.

2.- Soporte base.

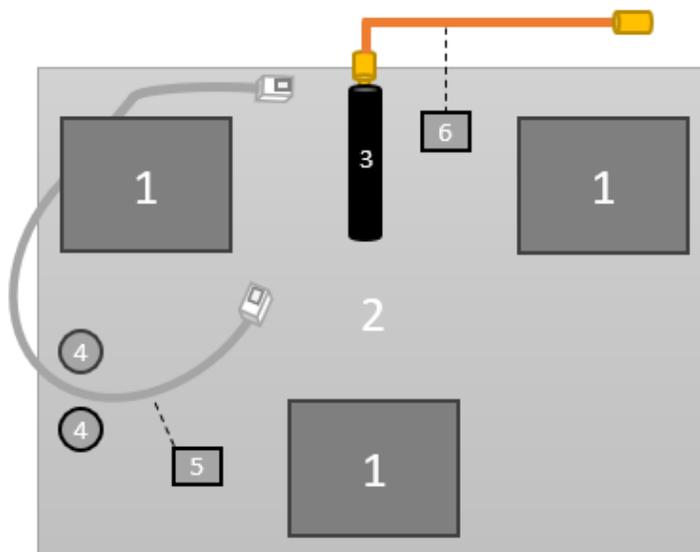
3.- Antena.

4.- Guías cable UTP.

5.- Cable UTP.

6.- Cable Antena.

Figura 9. Antena posición original lado izquierdo con orientación media. Fuente: Elaboración Propia.



Donde:

1.- Bases unidad bajo prueba.

2.- Soporte base.

3.- Antena.

4.- Guías cable UTP.

5.- Cable UTP.

6.- Cable Antena.

Figura 10. Antena posición central media superior. Fuente: Elaboración Propia.

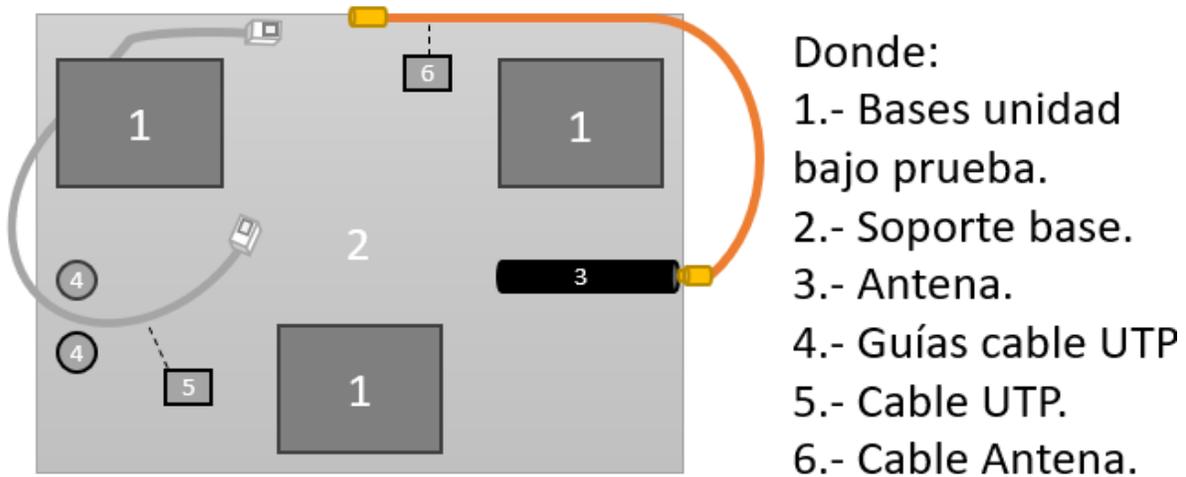


Figura 11. Antena posición central lado derecho con orientación media. Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizados los experimentos los resultados fueron comparados estadísticamente para seleccionar la combinación de posiciones con mayor potencia radiada y expresada con un intervalo de confianza al 95%. Así mismo el estudio consistió en identificar las pérdidas de conectores y cables desde el instrumento lector del probador hasta el dispositivo bajo prueba para identificar la pérdida total de potencia radiada perteneciente al equipo de prueba.

Una vez determinado cual es el rediseño a utilizar fue implementado en la línea de producción para recabar datos y posteriormente realizar un análisis comparativo con una muestra poblacional aleatoria de 25 días de producción igual a la muestra de los experimentos mencionados en la metodología, para posteriormente realizar un estadístico comparativo de media, desviación estándar, varianza y nivel de confianza para validar el diseño liberado a producción, De igual manera realizando el cálculo de intervalos de confianza al 95% para validar las medias muestrales del evento AB contra los 25 días de producción. (Navidi, 2006). esto con el fin de cumplir con los estándares de productividad y OEE planteados en los objetivos.

8.Resultados

8.1 Sumario de resultados del evento AB en el equipo de RF.

A continuación, es presentada la línea base del evento AB. En la figura 12 tenemos el Pareto de segundo grado del equipo de RF, en la tabla 2 los resultados de adherencia, productividad y OEE obtenidos en el equipo de RF y en la tabla 3 el sumario de los datos por modo de falla.

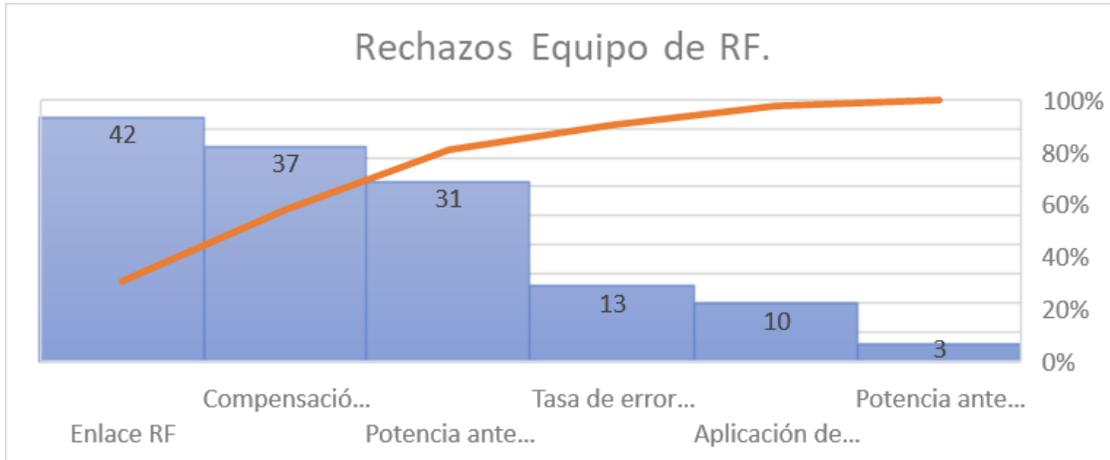


Figura 12. Pareto modos de falla en equipo de RF. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2. Sumario resultados evento AB equipo RF. Fuente: Elaboración propia.

Teléfonos empresariales		Sumario de resultados corrida piloto de ingeniería AB						
		Unidades producidas	Unidades Buenas	Unidades Malas	Productividad	Tiempo Perdido	OEE	Adherencia
Op.	Proceso							
5	Equipo RF	956	820	136	85.77%	408.00	78.46%	85.80%

Tabla 3. Sumario de datos por modo de falla evento AB. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Prueba	Unidades Probadas	Unidades Buenas	Unidades Malas	Productividad	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
Enlace RF	956	914	42	95.61%	0	1	0.96	0.206	0.042
Compensación de frecuencia	956	919	37	96.13%	-363946.9	7085.33	-12247.1	70900.25	5026845631.16
Potencia antena 1	956	925	31	96.76%	-100	22.56	16.65	10.03	100.51
Tasa de error de bits	956	943	13	98.64%	0	19768.3	145.94	1031.434	1063856.11
Aplicación de prueba DECT	956	946	10	98.95%	0	1	0.99	0.102	0.0140
Potencia antena 2	956	953	3	99.69%	-2.74	22.1	18.76	3.147	9.901
Total	956	820	136	85.77%					

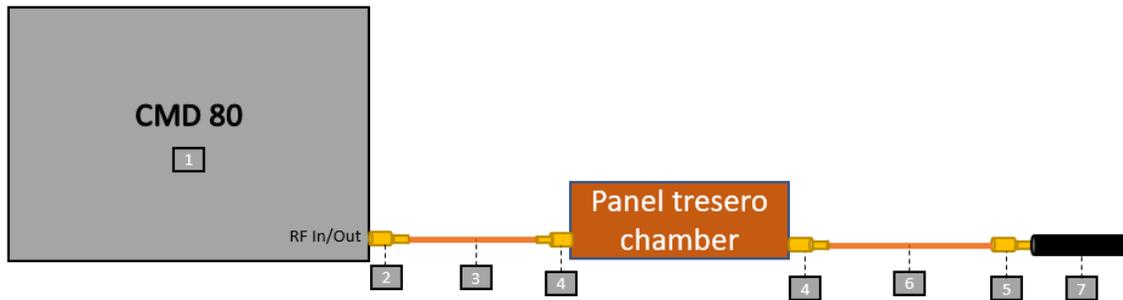
En base a los modos de falla presentados en la tabla 12 fue necesario realizar un análisis del equipo de RF hardware y software en base al Pareto de la figura 17 cinco de los seis modos de falla están relacionados con la prueba de radio frecuencia, por lo tanto es necesario realizar mediciones de pérdida en el equipo, así como verificar la fiabilidad de la estación y de ser necesario rediseñar el sistema de prueba basándose en los efectos de propagación de onda: reflexión, difracción y dispersión, así como las pérdidas de radiación de RF.

8.2 Resultados perdida total de conectores y cables equipo de RF.

A continuación, presentamos los resultados del análisis de pérdida en el equipo de RF, en la tabla 4 son descritos las pérdidas de conectores y cables según la hoja de datos de los fabricantes, en la figura 13 tenemos el diagrama a bloques de las conexiones desde el instrumento de medición hasta la unidad bajo prueba.

Tabla 4. Perdida en dB equipo RF. Fuente: Elaboración Propia.

Equipo	Perdida (dB)
Comprobador de radiocomunicaciones digital CMD80 (RF entrada/salida 47dB máximo)	1
Conector RF grande	5
Cable de comunicación RF 3 pies	7
Cople RF grande	3
Conector RF grande	5
Cable de comunicación RF 1 pie	4
Perdida total en hardware	25



Donde:

- 1.- Probador de radiocomunicación digital.
- 2.- Conector RF grande.
- 3.- Cable comunicación RF.
- 4.- Conector RF grande.
- 5.- Conector RF grande.
- 6.- Cable Antena.
- 7.- Antena.

Figura 13. Diagrama a bloques conexiones. Fuente: Elaboración Propia.

Las pérdidas encontradas fueron compensadas por software cambiando el algoritmo de prueba de RF en base a la pérdida total y afectaciones externas, cambiando el canal de enlace con el probador de radiocomunicación y la antena receptora. Además, cambiamos los límites de aceptación de potencia radiada en el equipo los cuales son: límite mínimo es igual a 15 dB, límite máximo es igual a 25 dB teniendo un límite medio igual a 20 dB. La antena diseñada por el equipo de RF tiene los siguientes límites de medición, límite mínimo de 6 dB y un máximo de 36 dB, teniendo un límite medio de 21 dB.

8.3 Resultados de las corridas experimentales para encontrar el nuevo rediseño del equipo de RF.

A continuación, son presentados los resultados de potencia radiada y radiación de las corridas experimentales en el equipo de RF. En la tabla 6 tenemos los resultados de la unidad certificada "Golden 1" y en la tabla 7 tenemos los resultados de la unidad certificada "Golden 2".

Tabla 5. resultados de la unidad certificada “Golden 1”. Fuente: Elaboración propia.

Unidad Certificada Golden 1			
Estadística Descriptiva	Antena posición original lado izquierdo con orientación media	Antena posición central media superior	Antena posición lado derecho con orientación media
Media	17.54	18.18	19.44
Error estándar	0.02	0.01	0.01
Mediana	17.54	18.18	19.39
Moda	16.93	18.19	19.33
Desviación estándar	0.39	0.10	0.13
Varianza de la muestra	0.15	0.01	0.02
Curtosis	-1.17	2.67	4.77
Asimetría estadística	-0.52	-1.07	2.17
Rango	1.07	0.52	0.62
Mínimo	16.92	17.82	19.32
Máximo	17.99	18.34	19.94
Suma	5262.12	5453.58	5831.78
Muestras	300.00	300.00	300.00
Nivel de Confianza (95%)	0.04	0.01	0.01

Tabla 6. resultados de la unidad certificada “Golden 2”. Fuente: Elaboración propia.

Unidad Certificada Golden 2			
Estadística Descriptiva	Antena posición original lado izquierdo con orientación media	Antena posición central media superior	Antena posición lado derecho con orientación media
Media	18.02	19.44	21.49
Error estándar	0.01	0.01	0.00
Mediana	18.10	19.39	21.50
Moda	17.94	19.38	21.50
Desviación estándar	0.24	0.13	0.08
Varianza de la muestra	0.06	0.02	0.01
Curtosis	-0.35	5.25	25.97
Asimetría estadística	-0.82	2.40	0.81
Rango	0.82	0.62	1.00
Mínimo	17.52	19.32	21.10
Máximo	18.34	19.94	22.10
Suma	5406.85	5831.62	6445.75
Muestras	300.00	300.00	300.00
Nivel de Confianza (95%)	0.03	0.01	0.01

Las tablas 5 y 6 muestran los resultados de las corridas experimentales, para decidir cual posición es la mejor utilizaremos los datos: media, desviación estándar, varianza y el nivel de confianza de las unidades certificadas para promediarlos y tomar la decisión basados en la evidencia estadística, en la tabla 7 son presentados los resultados de los promedios.

Tabla 7. Promedios Golden 1 y Golden 2. Fuente: Elaboración propia.

Promedios Golden 1 & Golden 2					
Estadística Descriptiva	Antena posición original lado izquierdo con orientación media	Antena posición central media superior	Antena posición lado derecho con orientación media	Mejora posición Original contra Central	Mejora posición Central contra Derecho
Media	17.78	18.81	20.46	1.03	1.65
Desviación estándar	0.32	0.12	0.11	0.20	0.01
Varianza de la muestra	0.11	0.01	0.01	0.09	0.00
Nivel de Confianza (95%)	0.04	0.01	0.01	0.02	0.00

En base a los resultados de los promedios mencionados en la tabla 7. Donde la media de los límites de aceptación del equipo es 20 y la media de la posición derecha es 20.46 con 0.11 desviaciones estándar, con una varianza de 0.01 y un nivel de confianza del 95 % igual a 0.01, con esto tenemos suficiente evidencia estadística para aceptar la posición central lado derecho con orientación media de la antena, además comparando los datos de las medias de posición central contra la posición derecha tenemos una ganancia de 1.65 decibeles, por lo tanto la potencia radiada y radiación es mayor al respecto de las demás posiciones. Basado en estos resultados fueron integrados estos cambios en el equipo en la línea de producción. Para determinar el comportamiento de la media fue calculado el intervalo de confianza del promedio con un nivel de confianza del 95%. La fórmula 12 es utilizada para el intervalo de confianza considerando una muestra de 600 unidades calculada en base a una distribución normal Z es:

$$\bar{x} - Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

Formula 12. Intervalo de confianza con distribución Z. Fuente: (Navidi, 2006).

Donde:

\bar{x} es el promedio de la muestra.

s es la desviación de la muestra.

n es el número de muestra.

$Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ es un valor de una variable aleatoria con distribución Z con un nivel de confianza $1 - \alpha$

El cálculo para nuestro caso particular fue el siguiente:

Donde:

$\bar{x} = 20.4625$.

$s = 1.0299$.

$$n = 600.$$

$\alpha = 0.025$ considerando un intervalo de confianza del 95%.

$Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} = 1.96$ consultando tablas de distribución Z (Navidi, 2006).

$$20.4625 - 1.96 \left(\frac{1.0299}{\sqrt{600}} \right) < \mu < 20.4625 + 1.96 \left(\frac{1.0299}{\sqrt{600}} \right)$$

$$20.4625 - 1.96 \left(\frac{1.0299}{24.4998} \right) < \mu < 20.4625 + 1.96 \left(\frac{1.0299}{24.4998} \right)$$

$$20.4625 - 1.96(0.0420) < \mu < 20.4625 + 1.96(0.0420)$$

$$20.4625 - 0.08232 < \mu < 20.4625 + 0.08232$$

$$20.3801 < \mu < 20.5448 \text{ dB. IC al 95\%}$$

En base al cálculo del IC al 95%, podemos decir: tenemos suficiente evidencia estadística para aceptar el diseño de la posición derecha basados en el intervalo de confianza del 95%, nuestro valor medio 20.4626 está dentro del intervalo 20.3801 y 20.5448 calculado por lo tanto aceptamos el diseño posición derecha para integrarlo a producción.

8.3 Resultados de producción utilizando el nuevo rediseño del equipo de RF.

A continuación, presentamos los resultados de 25 días de producción con fecha del 29 de junio al 30 de julio del 2020, en la tabla 8 presentamos el sumario de productividad con una meta del 95%, en la tabla 9 tenemos los resultados de adherencia con una meta del 95%, y el OEE con una meta del 95%, en la tabla 10 el sumario de los datos por modo de falla y en la figura 14 tenemos un Pareto de los modos de falla del equipo de RF.

Tabla 8. Resultados productividad producción 29-Jun al 30-Jul. Fuente: Elaboración propia.

Teléfonos empresariales		Resultados corrida piloto de ingeniería AB				
		Unidades producidas	Unidades Buenas	Unidades Malas	Productividad	Tiempo Perdido
Op.	Proceso					
5	Equipo RF	2,412	2,336	76	96.85%	228.00

Tabla 9. Resultados adherencia y OEE 29-Jun al 30-Jul. Fuente: Elaboración propia

Estación	Disponibilidad	Desempeño	Calidad	Tiempo Disponible (min)	Tiempo Real (min)	Tiempo Muerto (min)	Tiempo SMED (min)	Unidades Probadas	Unidades Malas	OEE ≥ 95%	Adherencia ≥ 95%
DBT	93.9%	100.0%	90.7%	17664	17116	228	320	2412	76	93.84%	96.80%

Tabla 10. Sumario de datos por modo de falla en producción. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Prueba	Unidades Probadas	Unidades Buenas	Unidades Malas	Productividad	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación estándar
Enlace RF	2412	2352	0	97.51%	1	1	1	0
Compensación de frecuencia	2412	2412	0	100.00%	-926.3	5161.1	-5316.6	1205.912
Potencia antena 1	2412	2410	2	99.92%	-6	24.15	21.203	0.02584
Tasa de error de bits	2412	2412	0	100.00%	0	1000	89.452	4.2239
Aplicación de prueba DECT	2412	2352	60	97.51%	0	1	0.9751	0.0031
Potencia antena 2	2412	2398	14	99.42%	-30.3	21.5	17.229	0.0808
Total	2412	2336	76	96.85%				

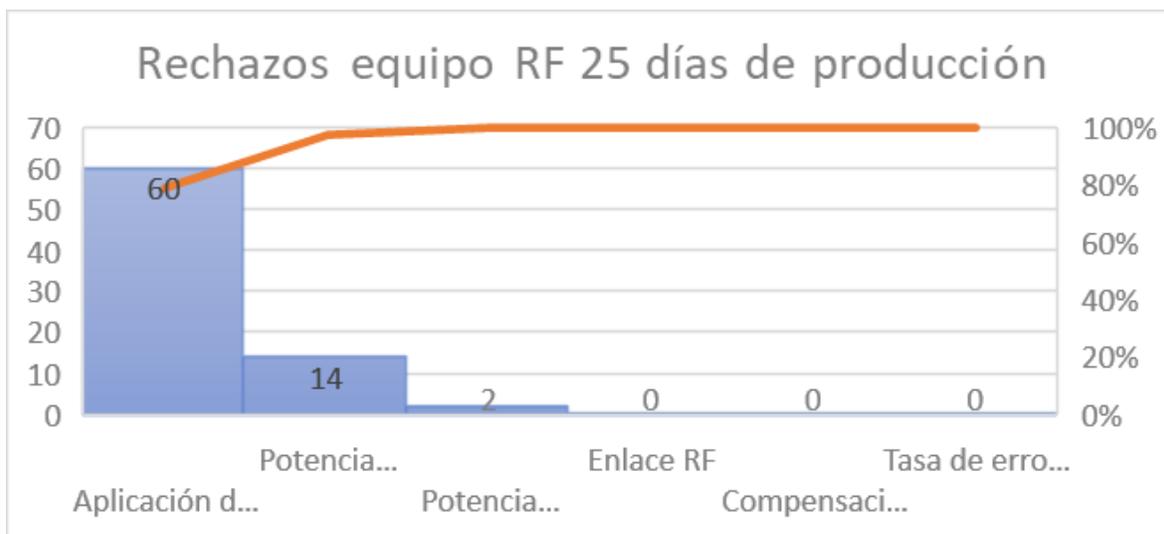


Figura 14. Pareto modos de falla en el equipo de RF en producción 29-Jun a 30-Jul. Fuente: Elaboración Propia.

En base a los resultados de los 25 días de producción donde fueron rechazadas 76 unidades con tres diferentes modo de falla ilustrados en el Pareto de la figura 22, 16 unidades tienden a rechazos por problemas de potencia radiada, representando el 21.05% de las fallas totales, siendo el 18.42% la antena 2 y el 2.63 la antena 1, basados en estó fue realizado un análisis estadístico descriptivo para obtener los

datos de la media, desviación estándar, varianza y el nivel de confianza los cuales están presentes en la tabla 11.

Tabla 11. Sumario resultados 25 días producción. Fuente: Elaboración propia.

Estadística Descriptiva	Resultados 25 días de producción
Media	21.22
Error estándar	0.02
Mediana	21.50
Moda	21.50
Desviación estándar	1.00
Varianza de la muestra	1.00
Curtosis	34.78
Asimetría estadística	-5.39
Rango	9.95
Mínimo	11.55
Máximo	21.50
Suma	38922.21
Muestras	1834.00
Nivel de Confianza (95%)	0.05

Una vez obtenidos los resultados del estadístico descriptivo de los 25 días de producción, fue obtenida una muestra aleatoria de datos igual a nuestra línea base, en este caso nuestra línea tiene 905 datos, por lo tanto, para comparar si existe diferencia estadística en ambas poblaciones vamos a tomar una muestra aleatoria de producción de 905 datos, a estos datos restaremos los 905 datos de AB, a los 905 datos resultantes de esta diferencia les fue realizado un estadístico descriptivo presentando sus resultados en la tabla 12 a continuación descrita.

Tabla 12. Sumario resultados diferencias AB vs producción. Fuente: Elaboración propia.

Estadística Descriptiva	Resultados diferencia AB vs producción
Media	-4.61
Error estándar	0.33
Mediana	-2.85
Moda	0.00
Desviación estándar	10.07
Varianza de la muestra	101.43
Curtosis	98.85
Asimetría estadística	-8.97
Rango	128.11
Mínimo	-121.50
Máximo	6.61
Suma	-4173.65
Muestras	905.00
Nivel de Confianza (95%)	0.66

Una vez obtenidos los resultados de las diferencias entre la línea base y producción fue realizado un intervalo de confianza al 95% para comprobar si existe una mejora en producción después de la implementación del nuevo rediseño. Para calcular este intervalo fue utilizada la fórmula 12 de cálculo de intervalo de confianza con distribución Z (Navidi, 2006). Considerando una muestra de 905 datos.

$$\bar{x} - Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

Formula 12. Intervalo de confianza con distribución Z. Fuente: (Navidi, 2006).

Donde:

\bar{x} es el promedio de la muestra.

s es la desviación de la muestra.

n es el número de muestra.

$Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ es un valor de una variable aleatoria con distribución Z con un nivel de confianza $1 - \alpha$

El cálculo para nuestro caso particular fue el siguiente:

Donde:

$$\bar{x} = -4.61.$$

$$s = 10.07.$$

$$n = 905.$$

$\alpha = 0.025$ considerando un intervalo de confianza del 95%

$Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} = 1.96$ consultando tablas de distribución Z (Navidi, 2006).

$$-4.61 - 1.96 \left(\frac{10.07}{\sqrt{905}} \right) < \mu < -4.61 + 1.96 \left(\frac{10.07}{\sqrt{905}} \right)$$

$$-4.61 - 1.96 \left(\frac{10.07}{30.08} \right) < \mu < -4.61 + 1.96 \left(\frac{10.07}{30.08} \right)$$

$$-4.61 - 1.96(0.3347) < \mu < -4.61 + 1.96(0.3347)$$

$$-4.61 - 0.656012 < \mu < -4.61 + 0.656012$$

$$-5.27 < \mu < -3.95 \text{ dB. IC al 95\%}$$

En base a los resultados del cálculo del intervalo de confianza al 95% en donde en primera instancia tenemos un intervalo negativo asumimos estadísticamente tener una diferencia favorable en producción con respecto a mi línea base, por lo tanto, estadísticamente comprobamos tener una mayor potencia radiada después de integrar el rediseño en el equipo de radio frecuencia.

El resultado del intervalo de confianza de la diferencia de los datos anteriormente descrito solo indica estadísticamente una diferencia en los datos, al tener signos negativos mi intervalo indica un valor mayor en los datos de producción, por eso decimos: tienen mayor ganancia en potencia radiada con respecto al cambio en mi sistema de prueba. Para saber cuál es la diferencia de esa potencia radiada construiremos un intervalo de confianza con los datos de producción utilizando la formula 12 de intervalos de confianza con distribución Z (Navidi, 2006).

Considerando una muestra de 1834 datos. Los datos para realizar este intervalo los tomaremos de la tabla 19 anteriormente descrita.

$$\bar{x} - Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

Formula 12. Intervalo de confianza con distribución Z. Fuente: (Navidi, 2006).

Donde:

\bar{x} es el promedio de la muestra.

s es la desviación de la muestra.

n es el número de muestra.

$Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ es un valor de una variable aleatoria con distribución Z con un nivel de confianza $1 - \alpha$

El cálculo para nuestro caso particular fue el siguiente:

Donde:

$$\bar{x} = 21.22.$$

$$s = 1.00.$$

$$n = 1834.$$

$\alpha = 0.025$ considerando un intervalo de confianza del 95%

$Z_{\frac{\alpha}{2}, n-1} = 1.96$ consultando tablas de distribución Z (Navidi, 2006).

$$21.22 - 1.96 \left(\frac{1}{\sqrt{1834}} \right) < \mu < -21.22 + 1.96 \left(\frac{1}{\sqrt{1834}} \right)$$

$$21.22 - 1.96 \left(\frac{1}{42.82} \right) < \mu < 21.22 + 1.96 \left(\frac{1}{42.82} \right)$$

$$21.22 - 1.96(0.02335) < \mu < 21.22 + 1.96(0.02335)$$

$$21.22 - 0.045766 < \mu < 21.22 + 0.045766$$

$$21.18 < \mu < 21.27 \text{ dB. IC al 95\%}$$

La corrida de producción mostro una potencia radiada con un intervalo del 95% entre 21.18 y 21.27. con una media de 21.22 con una desviación estándar de 1 y con una varianza de 1.

Por lo tanto, en primera instancia comprobamos estadísticamente calculando el intervalo de confianza de las diferencias existentes entre la línea base evento de ingeniería AB y 25 días de producción, resultando un intervalo de confianza al 95% con signo negativo, siendo esto porque en producción es mayor la potencia radiada con respecto al evento AB, por lo tanto, tenemos mayor potencia radiada una vez integrado el nuevo rediseño en el equipo de prueba de RF. Para comprobar la existencia de una mayor potencia radiada fue construido un intervalo de confianza al 95% de los datos de producción resultando un intervalo entre 21.18 y 21.27 decibeles, con una media de 21.22 decibeles.

9. Discusión de Resultados

El resultado de las corridas experimentales dio como mejor resultado a la posición lado derecho con orientación media de la antena en donde la media de los límites de aceptación del equipo es de 20 decibeles (dB) y la media de los promedios de los experimentos de la posición lado derecho con orientación media es de 20.46 dB con 0.11 de desviación estándar y teniendo 1.65 dB más de ganancia con respecto a las otras posiciones. Basados en estos resultados fue calculado un intervalo de confianza al 95% de los 600 datos de las corridas experimentales de la posición derecha resultando un intervalo desde 20.38 dB a 20.54 dB, así fue comprobado estadísticamente la media muestral de la población está dentro del intervalo con un 95% de confianza, por lo tanto, aceptamos implementar el nuevo rediseño en el equipo de prueba de radio frecuencia.

Una vez aceptado el rediseño fue implementado en producción, para validar su fiabilidad fue realizado un análisis estadístico de una muestra de 25 días producción teniendo los siguientes resultados:

De un total de 2412 unidades producidas tuvimos, 76 unidades rechazadas resultando un OEE del 93.84% con una productividad del 96.85% en el equipo DBT, de las 76 unidades rechazadas el 21.05% corresponde a rechazos en la prueba de radio frecuencia por problemas de potencia radiada ya sea por mal ensamble o por fallas en los componentes de las unidades. Para validar si tuvimos una mayor ganancia fue tomada una muestra aleatoria de datos de producción igual a 905 datos, con esto realizamos una resta con los datos de la línea base donde la media de la población resulto igual a -4.61 dB con una desviación estándar de 10.07 y una varianza de 101.43, para demostrar si la implementación del rediseño tuvo resultados favorables construimos un intervalo de confianza al 95% resultando un intervalo con signo negativo de -5.21 dB a -3.95 dB, por lo tanto, asumimos tener resultados favorables en producción con respecto a la línea base con un 95% de confianza, estadísticamente comprobamos tener una mayor potencia radiada después de integrar el rediseño al equipo de RF. Para comprobar cuanto mayor es

la potencia radiada en producción construimos un intervalo de confianza del 95% de los 1834 datos de producción con una media muestral igual a 21.22 dB con una desviación estándar igual a 1, con una varianza igual a 1, resultando un intervalo de 21.18 dB a 21.27 dB, por lo tanto, comprobamos estadísticamente la integración del rediseño tiene mejor potencia radiada en producción, siendo la media muestral de nuestro datos está dentro del intervalo con un 95% de confianza.

Como resumen se muestra la tabla 13 con la sumatoria de los intervalos de confianza de la línea base, experimentos y producción, así mismo los resultados de media, desviación estándar, varianza de cada uno de los eventos.

Tabla 13. Sumario resultados evento AB, experimentos y producción. Fuente: Elaboración propia.

Sumario información AB, Experimentos y Producción			
Estadística Descriptiva	Evento AB	Antena posición lado derecho con orientación media	25 días de producción
Media	17.42	20.46	21.22
Desviación estándar	2.51	0.11	1.00
Varianza de la muestra	6.32	0.01	1.00
Nivel de Confianza (95%)	0.16	0.01	0.05
Intervalos de Confianza al 95%	$17.25 < \mu < 17.58$	$20.38 < \mu < 20.54$	$21.18 < \mu < 21.27$

En base a los resultados de la tabla 13 decimos:

1. Tuvimos un incremento alrededor de 3 dB del evento AB con respecto al nuevo rediseño.
2. Tuvimos un incremento alrededor de 1 dB con la integración del nuevo rediseño con respecto a 25 días de producción.
3. En resumen, tuvimos un incremento alrededor de 4 dB desde el evento AB hasta producción.

Una vez obtenidos estos resultados podemos rechazar la hipótesis nula y aceptamos nuestra hipótesis alternativa donde el rediseño de la prueba de radio frecuencia para teléfonos empresariales si mejora la productividad y fiabilidad del equipo.

9. Conclusion

El rediseño del equipo fue basado en los resultados del evento de ingeniería AB anteriormente descrito en antecedentes con un OEE del 78.46%, con una productividad del equipo de RF del 85.77% teniendo 136 rechazos de los cuales el 90% corresponden a las pruebas de radio frecuencia, para ello fue necesario realizar una investigación sobre los efectos sufridos durante la transmisión de datos por medio de radio frecuencia como refracción, difracción, reflexión y dispersión. En base a esto solicitamos al equipo de RF de Poly en Santa Cruz California diseñar una antena industrial, la cual fue integrada al equipo para realizar las pruebas de radio frecuencia en el equipo de RF. Basados en esto planteamos colocar la antena en tres posiciones diferentes para realizar corridas de experimentos en cada posición utilizando 2 unidades muestra llamadas "Golden 1 y Golden 2" encontrando a la propuesta de colocar la antena del lado derecho en una posición media superior tenía mayor ganancia de recepción de potencia radiada, esta posición fue implementada en el equipo de producción donde obtuvimos los siguientes resultados de productividad, adherencia y OEE desde el 29 de junio al 30 de julio mostrados en la tabla 14.

Tabla 14. Resultados productividad, adherencia y OEE en producción 29-Jun al 30-Jul. Fuente: Elaboración propia.

Teléfonos empresariales		Sumario de resultados corrida producción 29-Jun. al 30-Jul.						
		Unidades producidas	Unidades Buenas	Unidades Malas	Productividad	Tiempo Perdido	OEE	Adherencia
Op.	Proceso							
5	Equipo RF	2,412	2,336	76	96.85%	228.00	93.84%	96.80%

El rediseño del equipo de prueba aumento la productividad en 11.08% esto comparando la productividad del evento AB donde fue del 85.77% contra la productividad resultante de 25 días de producción posteriores a la implementación del nuevo método de prueba, donde fue del 96.85%. sumado a esto el OEE también tuvo un incremento del 15.38% en comparación al evento AB donde tuvimos un

OEE del 78.46% y en el total de producción de 25 días posteriores a los cambios resulto un OEE del 93.84%. los objetivos planteados al inicio de esta investigación fueron cumplidos con este nuevo rediseño teniendo un OEE igual o mayor al 90% e incrementado la productividad del equipo de prueba igual o mayor al 95%.

El realizar esta investigación ayudo a implementar este estudio en otro producto donde es utilizado el mismo sistema de prueba de RF. Una vez implementada esta investigación en el equipo de RF de bases para auriculares tuvimos los siguientes resultados, en el evento AB tuvimos una productividad del 99.4% con solo 3 rechazos de 533 unidades producidas, cabe mencionar: ningún rechazo es referente a la prueba de potencia radiada en el equipo de RF. Una recomendación es tratar de implementar este tipo de estudios durante el desarrollo de los equipos de prueba para los nuevos productos.

11. Lista de referencias bibliográficas

- 1) VLSI Research Inc. (2006) The Chip History Center. The virtual museum of semiconductor. A History Timeline of Automatic Test Equipment. VLSI Research Inc.: San Jose, CA, USA, recuperado de <https://www.chiphistory.org/26-a-history-timeline-of-automatic-test-equipment>.
- 2) Nelson, R. (2015) Special Report MIL/AERO Test. Test engineers seek equipment commonality. Marvin test solutions inc.: Irvine, CA USA, recuperado de <http://ebiblio.cetys.mx:2100/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=ea221028-cec0-4487-bc29-da2758c84d89%40sessionmgr4010>.
- 3) Galván Romero, D. (2012). Análisis de la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) mediante el modelo de opciones reales. Tesis de Maestría en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México: México DF. p 121.
- 4) Draghiciu, N. Morgos, L. Burca, A. Boila, G. (2018). Advantages of a Semi – Automatic Test System. Journal of Computer Science & Control Systems. October, Vol. 11 Issue 2. University of Oradea Publishing House: Oradea, Romania pp 9-12. Recuperado de <http://ebiblio.cetys.mx:2100/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=10&sid=ea221028-cec0-4487-bc29-da2758c84d89%40sessionmgr4010>.
- 5) Stephen T. (2018). Leveraging COTS-Based Test Platforms for Next-Generation ATE Systems. Marvin test solutions, Inc.: Irvine, CA USA, recuperado de <http://ebiblio.cetys.mx:2100/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=17c770b9-1e31-4156-a3a5-cbf245df0288%40sdc-v-sessmgr02>.
- 6) Torres A. (2017). BDM de Prueba. Tipos de Equipos de Prueba Electrónica en Manufactura. Interlatin S de RL de CV.: Guadalajara, Jalisco, México, recuperado de <https://interlatin.com.mx/2017/09/18/tipos-de-equipos-de-prueba-electronica-en-manufactura/>.
- 7) Mital A., Desai A., Subramanian A., Mital A. (2014). Product Development (Second Edition), Designing for Assembly and Disassembly. Elsevier Book AID International. Amsterdam, The Netherlands, pp 159-202.
- 8) Camacho J., Alba N., Hernandez A., Molina J. (2015). Mejora de productividad de una línea de producción a través de la implementación de un programa especializado a la captura del métrico de eficiencia general de los equipos “OEE”. Cultura Científica y Tecnológica Especial No 1, Vol. 12 Issue 55. Universidad de Ciudad Juárez: Chihuahua, Mexico pp146-154.

- Recuperado de <http://ebiblio.cetys.mx:2122/ehost/detail/detail?vid=12&sid=7fe20b76-8a73-4851-a551-1bab8cf456d8%40pdc-v-sessmgr01&bdata=JnNpdGU9ZWZWhvc3QtbGl2ZQ%3d%3d#db=fap&AN=117271325>
- 9) Miranda, F. (2000). "La gestión del proceso de diseño y desarrollo de productos", [en línea] 5campus.com, Economía de la Empresa, recuperado de <<http://www.5campus.com/leccion/desapro>>
 - 10) Navidi, W. (2006). Statistics for Engineers and Scientists by The McGraw-Hill Companies, Inc. First edition.
 - 11) Render, B., Heizer, J. 2007. Administración de la producción. Pearson educación, México.
 - 12) Alvarez, A. (2020), Procedimiento de prueba para DBT (DECT) para Kepler trio c60 Rev. 0, C27G712. DOLI, mayo. Poly Corporation: Tijuana, Baja California, México.
 - 13) McDermaid, D. (2019). What is design to cost? An overview with examples. A priori Inc.: Concord, MA, USA. Recuperado de <https://www.apriori.com/blog/what-is-design-to-cost-an-overview-with-examples/>
 - 14) Rhodes, K., D. Kok, P. Sohoni, E. Perry, et al. (2017). Estimation of the Effects of Auxiliary Electrical Loads on Hybrid Electric Vehicle Fuel Economy. SAE Technical Paper 2017-01-1155. SAE International: Warrendale, PA, USA. Recuperado de <https://doi.org/10.4271/2017-01-1155>.
 - 15) Velarde L., Sánchez B., Soret J., Poncela J. (2003). Diseño e implementación de sistemas de prueba para la certificación de equipos bluetooth. Departamento de Ingeniería de Comunicaciones, ETSI Telecomunicaciones: Universidad de Málaga, España. Recuperado de <http://ebiblio.cetys.mx:2122/ehost/detail/detail?vid=6&sid=7fe20b76-8a73-4851-a551-1bab8cf456d8%40pdc-v-sessmgr01&bdata=JnNpdGU9ZWZWhvc3QtbGl2ZQ%3d%3d#db=a9h&AN=26311086>
 - 16) Alvarez A. (2020). Procedimiento de calibración para probadores DBT (DECT) Rev. 0, C27G714, DOLI, mayo Poly Corporation: Tijuana, Baja California, México.
 - 17) Crolla D., Foster D., Kobayasi T., Vaughan N., (2015). Encyclopedia of automotive engineering, Volumen 6.: John Wiley & SonsThis. pp 2454.

- 18) Kalpakjian S., Schmid S., (2001). Aspectos competitivos de la manufactura. En: Trujano, G. (Ed.). Manufactura, ingeniería y tecnología. Prentice-Hall Inc., New Jersey. Pp. 1108-1124.
- 19) Rasmussen P. (2018). What is Design for Manufacturing or DFM, [en línea]: 12 minutes to read, East West Manufacturing. Atlanta, GA, USA. Recuperado de <https://news.ewmfg.com/blog/manufacturing/dfm-design-for-manufacturing>
- 20) Zammori F., Braglia M. and Frosolini M., (2012). Stochastic overall equipment effectiveness. International Journal of Production Research: Universita` di Pisa Via Bonanno Pisano 25/B, 56126 Pisa, Italy.
- 21) Fleischer, J., Weismann, U., and Niggeschmidt, S., (2006). Calculation and optimization model for costs and effects of availability relevant service elements. Proceedings of LCE, 675–680. Karlsruhe, Germany.
- 22) Jonsson, P. and Lesshammar, M., (1999). Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems the role of OEE. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19 No. 1, 1999. Växjö & Kalmar, Småland, Suecia. pp. 55-78.
- 23) Muchiri P. and pintelon L., (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion, Heverlee, Belgium, pp.3517-3535.
- 24) Necedal De la Garza, J., (2006). RF Jamming. Tesis Licenciatura. Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Universidad de las Américas Puebla: Cholula Puebla.
- 25) Pérez J. (2011). La tecnología DECT algo más que teléfonos inalámbricos. Gigaset Latinoamérica: Buenos Aires, Argentina, recuperado de <http://www.redusers.com/noticias/la-tecnologia-dect-algo-mas-que-telefonos-inalambricos/>.
- 26) Tovar A. (2019). Prueba final en DBT de las bases Seirenes, Poseidon y Ebenezer, Rev. 18, C27G439, DOLI, diciembre Poly Corporation: Tijuana, Baja California, México.
- 27) Laguna C. (2014). Inferencia paramétrica: relación entre variables cualitativas y cuantitativas. Diplomado en salud pública, Instituto aragonés de ciencias de la salud: Zaragoza, España, recuperado de <http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T08.pdf>