

**APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA SOLVER EN UN
MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL BINARIA PARA LA ASIGNACIÓN
OPTIMA DE RECURSO HUMANO EN LOS REQUERIMIENTOS DE
MANTENIMIENTO IMPREVISTO EN LA AERONAVE B-727 DE LA COMPAÑÍA
MPI**

JUAN CARLOS ROMERO SUSUNAGA

D6200583

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
INGENIERIA INDUSTRIAL
DIPLOMADO EN ALTA GERENCIA
BOGOTÁ D.C.
2016**

Contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2. GLOSARIO	7
3. OBJETIVOS.....	9
3.1 GENERAL	9
3.2 ESPECIFICOS	9
4. FORMULACIÓN DE LA META	10
5. CAUSAS QUE IMPIDEN LOGRAR LA META	11
6. ANALISIS DEL PROBLEMA.....	11
6.1 EXCEL Vs LINDO	13
6.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN	16
6.3 ANALISIS CAUSA Y EFECTO.....	17
6.3.1 Diagrama espina de pescado	19
7. APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN SELECCIONADA	21
7.1 PLANTEAMIENTO.....	21
7.2 MODELO MATEMÁTICO.....	21
7.3 MODELO PROGRAMACIÓN LINEAL.....	22
7.4 MODELO EN EXCEL.....	23
7.5 PRESUPUESTO	27
8. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN, APRENDIZAJES Y RESULTADOS ESPERADOS.....	28
9. CONCLUSIONES	32
10. RECOMENDACIONES	33
11. BIBLIOGRAFIA.....	34
12. ANEXOS	35

Lista de Gráficos

<i>Grafico 1. Flujograma del proceso de Mantenimiento Imprevisto Compañía MPI.</i>	
<i>Fuente Elaboración Propia.....</i>	<i>12</i>
<i>Grafico 2. Planteamiento del problema en el software LINDO. Fuente Elaboración Propia.....</i>	<i>13</i>
<i>Grafico 3. Control de variabilidades del software LINDO. Fuente Elaboración Propia.....</i>	<i>14</i>
<i>Grafico 4. Macro SOLVER como complemento de EXCEL. Fuente Elaboración Propia.....</i>	<i>14</i>
<i>Grafico 5. Problema de Asignación. Fuente Elaboración Propia.....</i>	<i>16</i>
<i>Grafico 6. Diagrama causa y Efecto. Fuente elaboración propia.</i>	<i>20</i>
<i>Grafico 7. Restricciones de asignación. Fuente elaboración propia.....</i>	<i>24</i>
<i>Grafico 8. Restricciones de Asignación. Fuente elaboración propia.</i>	<i>25</i>
<i>Grafico 9. Planteamiento y formulación en Solver "EXCEL". Fuente elaboración propia.</i>	<i>26</i>
<i>Grafico 10. Asignación Manual Vs asignación PL. Fuente Elaboración Propia.....</i>	<i>29</i>
<i>Grafico 11. Asignación Manual Vs asignación PL. Fuente Elaboración Propia.....</i>	<i>31</i>

Lista de Tablas

Tabla 1. Asignación de trabajos actualmente de forma aleatoria.....	5
Tabla 2. Tiempo en horas de soluciones de fallas de cada técnico por sistema ata.	12
Tabla 3. Empleo de Solver “Excel”.....	14
Tabla 4. tiempo en horas de soluciones de fallas de cada técnico por sistema ATA.	24
Tabla 5. Tiempo en horas mínimas y máximas a laborar por jornada.....	25
Tabla 6. Matriz de asignación binaria como resultado de la optimización de la función objetivo.....	26
Tabla 7. Valor hora de los sueldos del personal requerido para el mantenimiento...27	
Tabla 8. Matriz de asignación con mejor optimización del recurso sin sobrecargar La jornada laboral.....	28
Tabla 9: costos horas hombre del proceso de mantenimiento asignación manual...29	
Tabla10: costos horas hombre del proceso de mantenimiento asignación con PL..30	
Tabla 11 asignación con mejoramiento de la función objetivo.....	30
Tabla 12: costos horas hombre del proceso de mantenimiento con asignación por PL.....	31

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Compañía MPI es una proveedora de soluciones de mantenimiento aeronáutico imprevisto y programado con una amplia gama de clientes de diferentes compañías del sector que hacen uso de sus servicios.

Aunque está haya implementado sistemas para ofrecer sus servicios de mantenimiento con calidad, llevando entrenamiento continuado a sus operarios, así como también mejorando su capacidad instalada; la asignación inadecuada de los operarios provocara demoras en la entrega de los trabajos generando la insatisfacción en los clientes por los retrasos que estas demoras acarrear.

El principal problema o necesidad radica en la NO existencia de un sistema efectivo de asignación de recurso humano “técnicos de mantenimiento” para el desarrollo y corrección de fallas de Mantenimiento Imprevisto o tareas de mantenimiento con calidad en el menor tiempo posible como meta principal, se ha recurrido a la programación lineal binaria para la mejora en la asignación de trabajos, todo esto en razón a que no se ha tenido en cuenta el tiempo de tardanza en la solución de cada falla por cada técnico de mantenimiento y con esto hacer una distribución más óptima para el desarrollo del mantenimiento optimizando tiempo y recursos.

De hecho, actualmente la asignación del recurso humano se realiza de forma manual asignando los trabajos de forma aleatoria sin importar la optimización del recurso humano como ejemplo está el siguiente gráfico:

Tabla 1. Asignación de trabajos Actualmente de forma aleatoria.

LICENCIA	NOMBRE	ATA CODE							
		21	27	28	32	34	35	55	56
TLA	JORGE	3	2	4,1	2	3	3	2	4,1
TLA	CARLOS	3,5	2	3,9	1,5	2,9	3,5	1,5	3,9
TLA	PEDRO	2,75	1,9	3,8	1,8	2,9	2,75	1,8	3,8
TLA	RODRIGO	3	2	4	1,7	2,9	3	1,7	4
TLA	DUBIER	2,8	1,7	3,9	2	2,8	2,8	2	3,9

Primer trabajo asignado (ATA CODE 21)
 Tercer trabajo asignado (ATA CODE 28)
 Quinto trabajo asignado (ATA CODE 34)
 Séptimo trabajo asignado (ATA CODE 55)
 Segundo trabajo asignado (ATA CODE 27)
 Cuarto trabajo asignado (ATA CODE 32)
 Sexto trabajo asignado (ATA CODE 35)
 Octavo trabajo asignado (ATA CODE 56)

Fuente Elaboración propia

Con esta asignación de trabajos el tiempo total que tardaran los técnicos de mantenimiento en solucionar los 8 problemas imprevistos es de **22** horas, este recurso puede ser optimizado utilizando la programación lineal y reducir el tiempo total de respuesta a todos los mantenimientos imprevistos o tareas de mantenimiento.

¿Qué técnico de mantenimiento se debe asignar para que solucione determinada tarea de mantenimiento aeronáutico imprevisto en un determinado sistema de la aeronave? De acuerdo con el cumplimiento en el menor tiempo posible de solución de fallas, sin sobrecargar ni extender la jornada laboral se asignará una restricción con tiempo mínimo de trabajo y un máximo de 8 horas para que no exceda el tiempo de la jornada laboral, de forma que estos requerimientos se cumplan con altos estándares de calidad y satisfaciendo las altas necesidades de los clientes.

2. GLOSARIO

AEROCIVIL: Entidad encargada de garantizar el desarrollo ordenado de la aviación civil, de la industria aérea y la utilización segura del espacio aéreo en Colombia, facilitando el transporte intermodal y contribuyendo al mejoramiento de la competitividad del país. (www.aerocivil.gov.co)

ATA CODE: Air Transport Association of America, El listado ATA 100, es una nomenclatura para organizar las distintas sistemas, partes, reparaciones o tipos de sistemas de cualquier aeronave (avión o helicóptero). (www.teras-lma.com)

- 21 Sistema de Aire Acondicionado
- 27 Sistema de Controles De Vuelos (Avión)
- 28 Sistema de Combustible
- 32 Sistemas de Tren de Aterrizaje
- 34 Sistema de Navegación
- 35 Sistema de Oxígeno
- 55 Sistema de estabilizadores
- 56 Sistema de alas

B-727: El Boeing 727 es una aeronave trimotor comercial de tamaño medio.

CONFIABILIDAD: Se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función

prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

HERRAMIENTA INFORMÁTICA: Son programas, aplicaciones o simplemente instrucciones usadas para efectuar otras tareas de modo más sencillo.

MANTENIMIENTO IMPREVISTO: Mantenimiento realizado fuera de los mantenimientos programados.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: Son operaciones de preservación simple o menores y el cambio de partes estándar pequeñas que no involucran operaciones de montaje complejas. (COLOMBIANA, 2007)

MPI: Compañía que presta servicios de mantenimiento imprevisto y programado a la industria aeronáutica en general.

LINDO: Solucionador de programaciones lineales, no lineales, enteros, estocásticos utilizado por miles de empresas en todo el mundo para maximizar los beneficios y minimizar los costos de las decisiones relacionadas con la planificación de producción, el transporte, las finanzas, la asignación de carteras, el presupuesto de capital, mezcla, programación, inventario, asignación de recursos y Más.¹

OFFICE: Es un paquete de programas informáticos para oficina desarrollado por Microsoft Corp. (una empresa estadounidense fundada en 1975). Se trata de un conjunto de aplicaciones que realizan tareas ofimáticas, es decir, que permiten automatizar y perfeccionar las actividades habituales de una oficina.

PL: Programación Lineal técnica de la matemática que permite la optimización de una función objetivo a través de la aplicación de diversas restricciones a sus variables. Se trata de un modelo compuesto, por lo tanto, por una función objetivo y sus restricciones, constituyéndose todos estos componentes como funciones lineales en las variables en cuestión.

SOFTWARE: se refiere al conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas.

SOLVER: Solver forma parte de una serie de comandos a veces denominados herramientas de análisis y sí. Con Solver, puede encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, denominada la celda objetivo, sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula en una hoja de cálculo. Solver trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas de variables de decisión, o simplemente celdas de variables, que participan en el cómputo de fórmulas en las celdas objetivo y de restricción. Solver ajusta los

¹ <http://www.lindo.com/>

valores en las celdas de variables de decisión para cumplir con los límites en las celdas de restricción y producir el resultado deseado para la celda objetivo.²

TÉCNICO DE MANTENIMIENTO AERONÁUTICO: persona que posee una licencia de mantenimiento de aeronaves. Esta titulación es válida para trabajar en mantenimiento de aeronaves. Es un título regulado por la AEROCIVIL y de acuerdo con las normativas.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Aplicar la herramienta informática SOLVER en un modelo de programación lineal binaria para dar solución a la asignación óptima de recurso humano en los requerimientos de mantenimiento imprevisto en la aeronave B-727 de la compañía MPI.

3.2 ESPECIFICOS

- Recopilar la información de los tiempos promedios de solución en los trabajos de los sistemas de la aeronave B-727, por cada uno de los operarios de mantenimiento.
- Tabular la información de cada sistema y los tiempos de solución por cada uno de los operarios.
- Organizar la información de acuerdo a los sistemas por ATA CODE.
- Analizar información para la implementación de la herramienta informática.

² <https://support.office.com/es-es/article/Definir-y-resolver-un-problema-con-Solver-9ed03c9f-7caf-4d99-bb6d-078f96d1652c>

- Implementar la herramienta informática SOLVER para darle solución al problema.

4. FORMULACIÓN DE LA META

- La obtención del sistema asignación de recurso humano para cumplir con demanda de servicios de mantenimiento imprevisto en la aeronave B-727 de la Compañía Aeronáutica MPI.
- Este sistema de asignación se obtendrá con la aplicación de la herramienta informática SOLVER que por medio de programación lineal binaria brindará la asignación del recurso de forma óptima de acuerdo a las capacidades y habilidades de cada técnico de mantenimiento.
- Para obtenerla se necesitó la obtención de información tabulada de acuerdo con los registros históricos de la solución de fallas imprevistas ANEXO A, la cual comprende los datos completos de cada operario de mantenimiento, así como su desempeño en tiempos promedios de solución de fallas por cada sistema de la aeronave organizada en sistemas ATA en varias aeronaves.
- El resultado de este sistema redundará cualitativamente debido a que se asignará el mejor operario de mantenimiento de acuerdo con su nivel de pericia en determinada falla y cuantitativamente debido a que se evidenciará en la reducción del tiempo y recursos de los servicios de

mantenimiento imprevisto mejorando el alistamiento de dichas aeronaves.

5. CAUSAS QUE IMPIDEN LOGRAR LA META

Las posibles causas que puedan impedir el logro de la meta son:

- La dependencia del suministro de datos por parte de producción y confiabilidad.
- Los datos a tener en cuenta para sacar los tiempos de desempeño por trabajo realizado serán tomados del registro histórico del mantenimiento de una aeronave ANEXO A, una de las posibles barreras es que esta información haya sido mal digitada o existan algún error en los datos puestos por el operario que corrige la novedad de mantenimiento.

6. ANALISIS DEL PROBLEMA

Antes del analizar el problema es de suma importancia dar a conocer el proceso del mantenimiento imprevisto de la compañía.

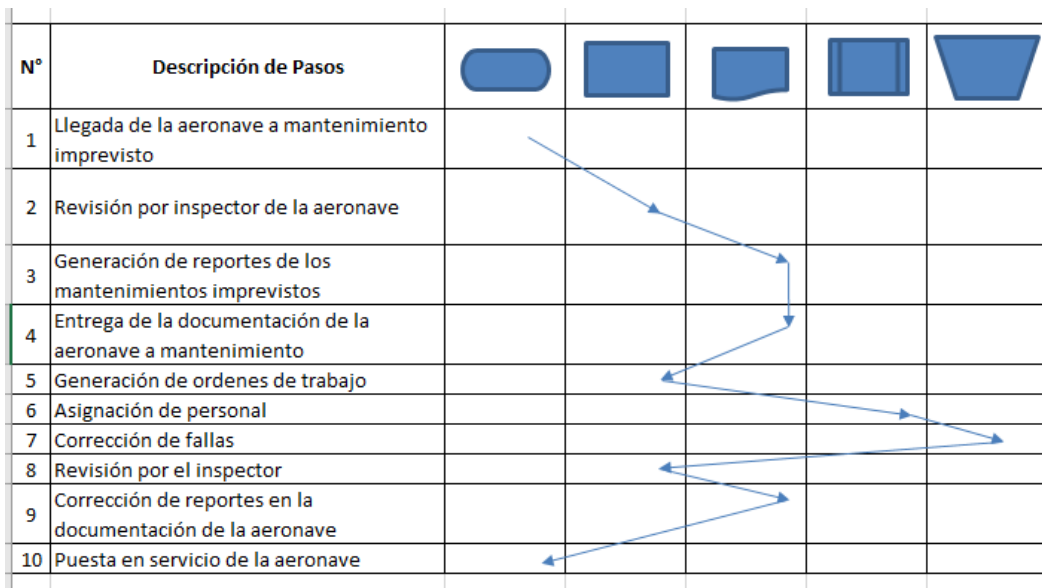


Grafico 1. Flujograma del proceso de Mantenimiento Imprevisto Compañía MPI. Fuente Elaboración Propia

Según la Oficina de Producción de Mantenimiento de la Empresa MPI; se analizaron los datos recolectados de las secciones de Confiabilidad y Registros Históricos y se extrajo los tiempos de demora de cada operario en cada sistema de la aeronave de acuerdo a sus habilidades durante un turno de trabajo, clasificando de acuerdo código ATA del sistema de la aeronave, la siguiente tabla representa el tiempo de demora en solución de fallas por sistema de cada operario.

Tabla 2:

Tiempo en horas de soluciones de fallas de cada técnico por sistema ATA.

ATA	21	27	28	32	34	35	55	56
T	Inspect heating and ventilating systems as follows: • Open main sliding cover. • Inspect heater ducting for cracks and damage. • Inspect heater bleed-air tubes for cracks and damage. • Check temperature sensing tube to heater mixing valve for security and cracks. • Inspect heater mixing valve and mounting brackets for damage and security. • Inspect blower housing and flange area for cracks. • Inspect attaching hardware and all connections for security. • Check heater mixing valve dust inlet screen for blockage.	Inspect flight control system components as follows: • Inspect flight control rod assemblies for evidence of external corrosion. • Inspect flight control rods, bellcranks, levers, supports, and directional control torque shaft for cracks, corrosion, distortion, and security of attaching hardware. • Inspect bearings for condition.	Inspect fuel cell area as follows: • Inspect internal portion of fuel cell for sludge and organic growth accumulation, release of self sealing compound or punctures. Inspect internal fuel lines, valves, and airframe-to-fuel cell interface connections for chafing and security. • Inspect fuel and vent lines above fuel cells for chafing, distortion, leaks, and security. • Inspect prime pump mount for cracks and security. • Inspect prime pump connection for leaks. • Inspect breakaway valves on vent, main fuel, prime boost pump, and prime boost pump fuel outlet for visible yellow line around center of valve. If yellow line is visible, replace valve.	Inspect main landing gear shock strut assemblies: • Remove main landing gear fairings. • Inspect exposed piston surfaces for nicks, scratches, scoring, and cracks. • Inspect general condition of spherical bearings. • Check for evidence of corrosion and blistering or chalking paint in painted areas. • Service main landing gear shock struts.	OPERATIONAL CHECKOUT TEST PROCEDURE: 1. Make sure all circuit breakers are pushed in, except those noted being pulled for maintenance or safety. 2. Apply electrical power. 3. Place controls (both CSC panel) as indicated: NAV A: Pushed in and rotated to midposition All other RADIONAV/NAV-Pulled out VOL-Midposition Function selector-NORM Mode selector-Any position 4. Position test set in cockpit. 5. Extend the GSV/OP/LOC antennae (test set). 6. Place controls (test set) as indicated: BATTERY-P/VR OFF MKR/BCN-P/VR OFF GLIDESLOPE-P/VR OFF LDC-P/VR OFF VDR/P/VR OFF ATTEN dials (2) 0 7. Place COMPASS control panel SLAVED-FREE switch to SLAVED, and momentarily press and turn COMPASS control panel PUSH TO SET control in direction indicated by annunciator to null annunciator (eg. if annunciator indicates < turn control towards > to null annunciator). CONDITION INDICATION Annunciator shall be nulled.	Inspect oxygen system components as follows: • Open storage compartment and inspect for fluid leaks. • Inspect passenger and crew oxygen cylinder for cracks, corrosion, distortion and security. • Inspect high pressure lines for cracks, corrosion and security. • Inspect manual actuation cable for cracks, corrosion and security. • Inspect the gauge for level.	Inspect stabilator as follows: • Remove stabilator. • Inspect stabilator in accordance with maintenance operator manual. • Remove stabilator actuator. • Inspect AIR/EOMS Sensor Harness for chafing and security. • Lubricate fully extended length of stabilator actuator assembly. • Install stabilator actuator. • Install stabilator.	Inspect left and right side cabin exterior as follows: • Inspect cabin steps, hand-holds, hand points, and left and right side exterior skins for cracks, corrosion, distortion, and security of fasteners. • Inspect antennas, gaskets (where installed), and connectors for damage, cracks, security, and cleanliness. • Inspect insulators for cracks and burnmarks. • Inspect antenna lead-ins and connectors for signs of overheating and damage.
OPERARIO					PROMEDIO			
JORGE	3	2	4,1	2	3	3	2	4,1
CARLOS	3,5	2	3,9	1,5	2,9	3,5	1,5	3,9
PEDRO	2,75	2	3,8	1,8	2,9	2,75	1,8	3,8
RODRIG	3	2	4	1,7	2,9	3	1,7	4
DUBIER	2,8	1,7	3,9	2	2,8	2,8	2	3,9

Fuente Datos suministrados por control producción.

Los anteriores son tiempos promedios de cada operario en cada sistema de la aeronave y fueron suministrados por la oficina de control producción ANEXO 1, y

representa la compilación de la información de esta forma se da cumplimiento al primer objetivo específico.

La tabla 2 representa la organización de la información y la tabulación de acuerdo a cada tarea y a cada operario con tiempos promedios de tardanza en cada tarea, para ser tomada como insumo matriz para realizar la ejecución de la herramienta informática a utilizar y de esta forma cumplir con el segundo y tercer objetivo.

Para el análisis de la información se realizará un planteamiento matemático por programación lineal por medio de un modelo de asignación de recurso y se utilizará este planteamiento con dos herramientas informáticas; *Excel* mediante el macro "SOLVER" y LINDO, para poder ejecutar el modelo, esto permite resolver el problema de Programación Lineal "PL" analizando ventajas y desventajas de cada herramienta para escoger la que de mejores resultados.

6.1 EXCEL Vs LINDO

- *El planteamiento de programa lineal en LINDO es exactamente igual a como se describe originalmente en una hoja de papel.*³

Grafico 2. Planteamiento del problema en el software LINDO. Fuente Elaboración Propia

- *El usuario posee un control muy sencillo de las variables del programa lineal que se quieran hacer (análisis de sensibilidad, dualidad, restricciones de integridad).*¹

³ http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/PL_PLE_Excel_Lindo.pdf

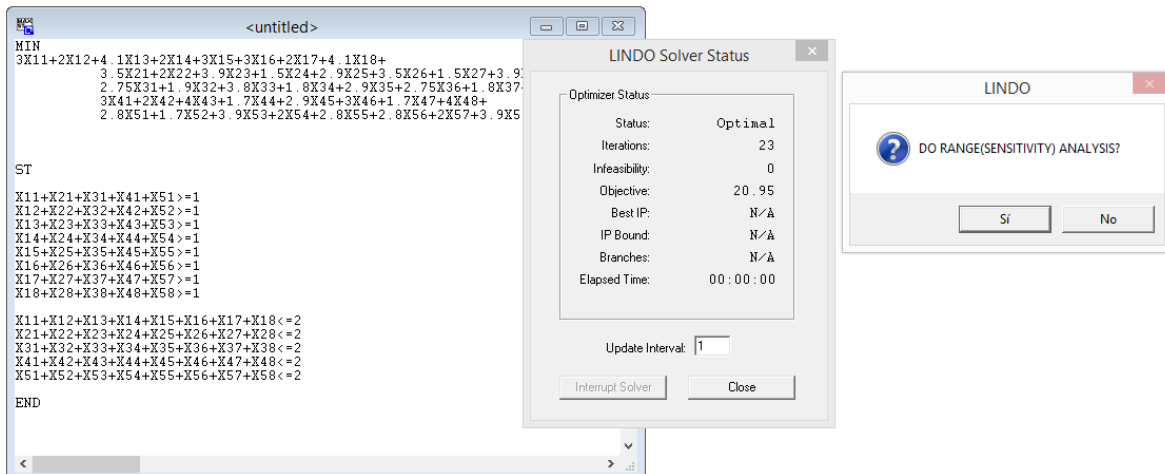


Grafico 3. Control de variabilidades del software LINDO. Fuente Elaboración Propia

- *EXCEL es un programa contenido en el paquete informático office de amplia difusión comercial y habitualmente se dispone de él.*⁴

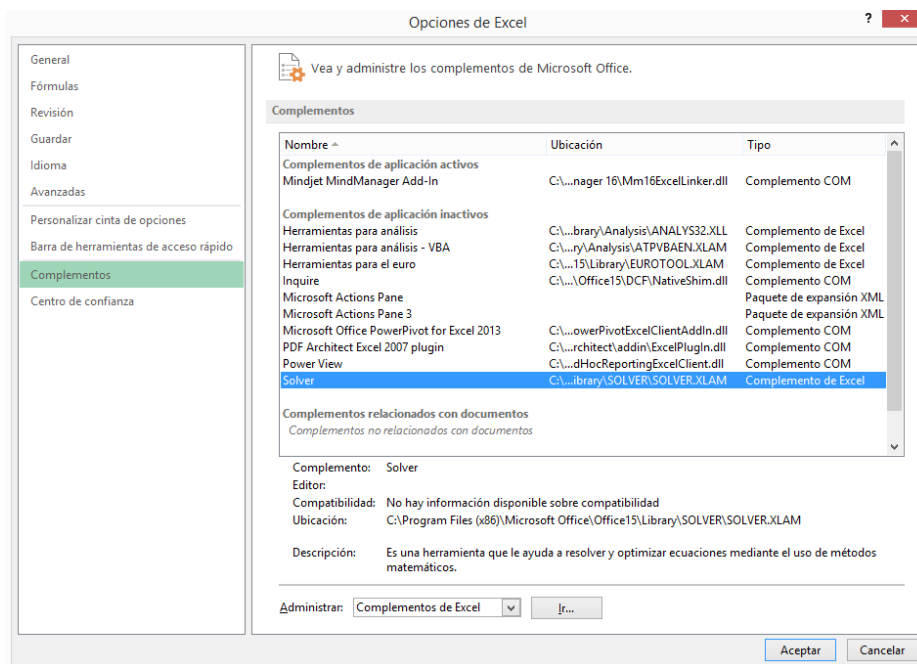


Grafico 4. Macro SOLVER como complemento de EXCEL. Fuente Elaboración Propia

- *La dificultad de introducción de un PL en EXCEL es inicialmente más costosa, el paquete de OFFICE puede llegar a costar 150 euros a diferencia*

¹ <http://www.lindo.com/>

⁴ http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/PL_PLE_Excel_Lindo.pdf

de 140 dólares que puede llegar a costar una licencia de LINDO, pero la facilidad de comprensión y el informe final pueden compensar la dificultad.⁵

Tabla 3:

Empleo de Solver “Excel”.

ASIGNACIÓN DE TAREAS											TAREA S A REALIZ AR	MINIMO A REALIZ AR	MAXIMO O A REALIZ AR	FUNCION OBJETIVO CON PL
LICENCIA	NOMBRE	21	27	28	32	34	35	39	74					
TLA	JORGE	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2	21,00 HORAS	
TLA	CARLOS	0	0	0	1	0	0	1	0	2	1	2		

Fuente Elaboración Propia

- EXCEL permite la construcción de complementos que potencian la fuerza resolutoria del programa. Estos permiten diseñar operaciones de cálculo que originalmente no estaban pensadas para EXCEL, la mejor optimización fue dada por Excel, aparte de ser un software muy comercial y de fácil consecución aparte de los beneficios ya conocidos, por este motivo se toma como herramienta de aplicación para la asignación de recurso en este problema en particular.

⁵ http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=114&Itemid=40;
http://www.microsoftstore.com/store/mseea/es_ES/cat/Office/categoryID.66226700

6.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN

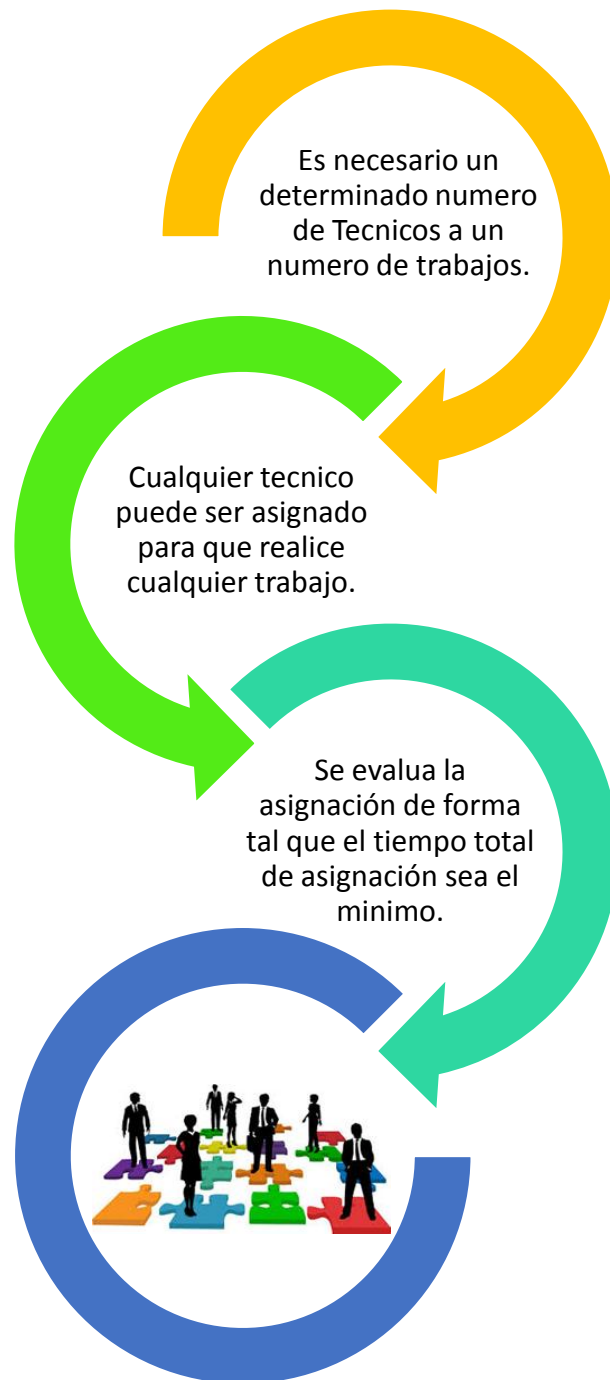


Grafico 5. Problema de Asignación. Fuente Elaboración Propia

6.3 ANALISIS CAUSA Y EFECTO

Para este análisis se establecieron las relaciones de causa y efecto entre factores que conllevan a la mala administración del personal de operarios de mantenimiento aeronáutico y se dio relevancia a los principales tópicos para realizar un diagrama causa y efecto de tipo espina de pescado.

CAUSAS

- **Falta de un programa de asignación de recursos:**
 - **Acumulación de trabajo:** al realizar la asignación de forma aleatoria sin tener ningún patrón de asignación hace que los trabajos sean más demorados en su entrega y por ende se represe sin control, hablando en condiciones ideales de logística solo teniendo en cuenta el trabajo a realizar.
 - **Medio:** Con la asignación adecuada de los trabajos se mitigará en cierta forma el represamiento de los trabajos, debido a que estos se realizarán en menos tiempo.
 - **Desorden al distribuir al trabajo:** La asignación sin patrones de seguimiento hace que se genere desorden al distribuir los trabajos a realizar.
 - **Medio:** con el nuevo modelo de asignación el patrón de asignación será óptimo y ordenado.
 - **No asignación por competencias:** En el departamento de recursos humanos no se realiza evaluación de desempeño de cada uno de los operarios, solo se realiza un entrenamiento continuado, pero no son evaluadas su pericia ni experticia.
 - **Medio:** La evaluación de desempeño y competencias a los operarios es de vital importancia, para clasificarlos de forma adecuada y hacerle un seguimiento de desempeño que permita realizar un entrenamiento continuado con el fin de solucionar falencias en las habilidades individuales.

- **No optimización de la información:**
 - **Información desorganizada:** Al no tener organizada la información con respecto a los tiempos de demora de cada operario por tarea en cada sistema, no se puede realizar una asignación efectiva.

- **Medio:** Se debe realizar la organización de los tiempos de tardanza por cada operario en cada tarea, la organización de esta información es el insumo primordial para realizar la asignación de forma adecuada.
 - **Mala digitación de la información:** al momento de realizar la digitación de los registros de mantenimiento, en donde se tiene en cuenta el tiempo demorado para solucionar determinada falla o tarea, si el dato de este tiempo es mal digitado la información tomada para la asignación será errónea y lejos del tiempo real.
 - **Medio:** Se debe cruzar la información digitada con la información escrita en los formatos de mantenimiento de forma acertada.
 - **Comunicación errónea:** La no socialización o mala comunicación entre la parte administrativa y los operarios hace que los operarios diligencien mal los formatos de mantenimiento al término de la corrección de la falla o la solución de la tarea de mantenimiento.
 - **Medio:** La mejora en los canales de comunicación redundara en los resultados de la asignación final.
- **Métodos de trabajos tradicionales:**
 - **Falta de autonomía de la compañía:** se hace referencia a la falta de organización y de implementar nuevos métodos para mejorar los tiempos de demoras al momento de solucionar fallas o realizar áreas de mantenimiento.
 - **Medio:** este modelo de asignación será un método de implementación para la mejora en los tiempos de solución de falla,
 - **Asignación al azar:** la asignación al azar o aleatoria denota la falta de lineamientos y métodos específicos para el desarrollo del proceso de asignación de operarios para la realización del mantenimiento.
 - **Medio:** La asignación por programación lineal binaria corregirá este método.
 - **Mala estimación de prioridades:** con la implementación de la calidad en los procesos y la mejora continua, no se había estimado como un problema, la asignación de personal para el mantenimiento, proceso que si genera problemas por las tardanzas en el mantenimiento que no eran generadas por los procesos logísticos.
 - **Medio:** Dentro de las prioridades de la compañía está la de mejorar este proceso lo que le permitirá estar con altos estándares de calidad.

- **Mala administración de personal:**
 - **Desconocimiento de las habilidades individuales:** Al no generar evaluación de habilidades y desempeño de los operarios, se desconocía totalmente las competencias reales de cada uno.
 - **Medio:** Con la evaluación de habilidades y desempeño de los operarios mejorar la administración de este personal al optimizar sus habilidades y pericias.
 - **Falta de clasificación por competencias:** esto hace referencias a la clasificación de determinado operario de acuerdo a su competencia para realizar determinada tarea de acuerdo a la que fuera el más competente evaluada por cierto por el tiempo en el que este corregía el trabajo. Cabe mencionar que cada trabajo realizado es hecho de acuerdo a requerimientos del manual los cuales llevan supervisión constante de forma tal que el inspector es el que recibe el trabajo como control calidad.
 - **Medio:** con los resultados de la evaluación de desempeño se puede clasificar el personal de acuerdo a sus competencias.
 - **Muchas cargas laborales:** hace referencia a las asignaciones laborales sin perjuicio de sus funciones de cada operario, lo que hace que estos no estén totalmente concentrados en su función principal que es la de la solución de las fallas o la realización de las tareas de mantenimiento.
 - **Medio:** Concentrar las habilidades de cada operario para mejorar el alistamiento de las aeronaves como función principal.

6.3.1 Diagrama espina de pescado

Identificadas las causas principales que contribuyen al efecto y efectos del problema de administración de personal, se organizan por niveles de relación de acuerdo al elemento que afecta y se realiza consecutivamente hasta llegar a la causa raíz, este diagrama dará las posibles causas que contribuyan al efecto final.

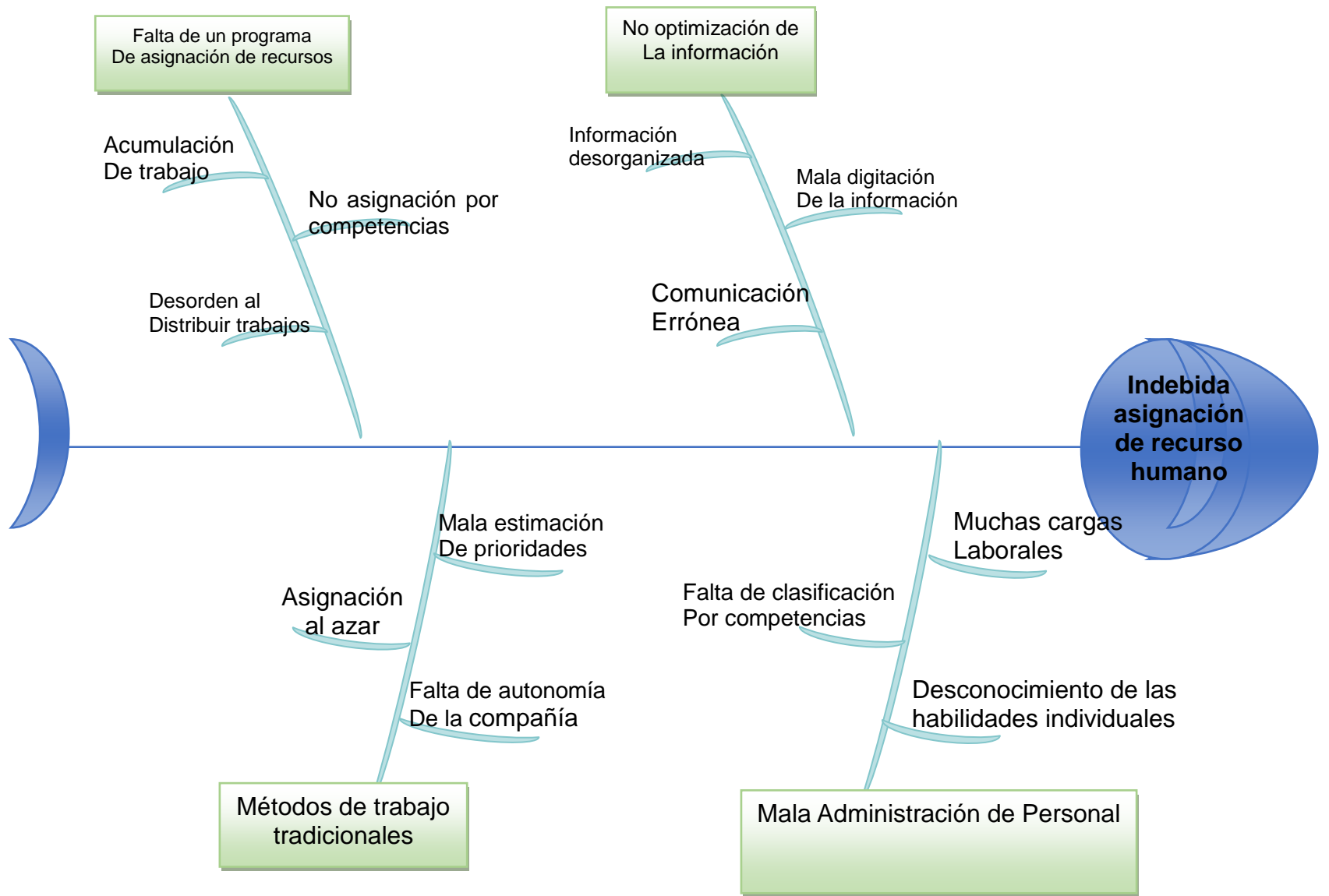


Grafico 6. Diagrama causa y Efecto. Fuente elaboración propia.

7. APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN SELECCIONADA

Luego de haberse recolectado la información ANEXO 1, tabulado organizado y analizado el promedio de las horas hombre de cada operario de mantenimiento, en cada trabajo asignado tabulado en sistemas teniendo en cuenta sus habilidades (Tabla 2), su Eficacia y Eficiencia en el desarrollo y fin termino de las fallas más recurrentes por cada uno de los sistemas organizados por **ATA CODE**, se realizó la formulación matemática con el fin de expresar en forma subjetiva el problema para luego ser expresado de forma organizada en **EXCEL** y luego ser resuelto por "**SOLVER**", donde se podrá tener el control y manipular las variables de acuerdo con los turnos de trabajo si se disminuye el tiempo de estos o se aumenta, como también restricciones de acuerdo con las tareas a asignar a cada uno de los operarios optimizando de esta manera el tiempo y reduciendo los costos que son inherentes a la reducción de la hora hombre.

7.1 PLANTEAMIENTO

X_{ij} : *Tecnico i que realizara el trabajo J*

Y_{ij} : *Tiempo en solucionar un mantenimiento imprevisto por el Tecnico i en el sistema j*

VARIABLES:

i : 1 = JORGE, 2 = CARLOS, 3 = PEDRO, 4 = RODRIGO, 5 = DUBIER

j : 1 = ATA 21; 2 = ATA 27; 3 = ATA 2; 4 = ATA 29; 5 = ATA 32; 6 = ATA 35;

7 = ATA 55; 8 = ATA 56

7.2 MODELO MATEMÁTICO

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^8 (X_{ij})(Y_{ij})$$

Sujeto a las siguientes Restricciones:

$$\sum_{i=1}^5 X_{ij} = 1 \quad \forall j$$

Se utiliza un sistema binario para asignar 1 y 0 de acuerdo a la tarea o sistema asignado a cada operario 1 tarea asignada, 0 tarea no asignada, Las variables de decisión tomadas para este problema son:

$$\sum_{j=1}^8 X_{ij} \leq 2 \forall i$$

Cada Mantenimiento Imprevisto debe ser solucionado por un i para todo j y se debe asignar máximo 2 trabajos para todo técnico, para este ejemplo, pero puede ser modificada estas restricciones de acuerdo a la cantidad de tareas a asignar y limitado por la jornada laboral.

$$\sum_{j=1}^8 X_{ij} \geq 1 \forall j$$

Y el mínimo de tarea debe ser de una para optimizar de que todos los operarios trabajen por lo menos en un mantenimiento imprevisto durante su turno de trabajo.

7.3 MODELO PROGRAMACIÓN LINEAL

Función objetivo

Minimizar

$$\begin{aligned} &= 3x_{11} + 2x_{12} + 4,1x_{13} + 2x_{14} + 3x_{15} + 3x_{16} + 2x_{17} \\ &+ 4,1x_{18} + 3,5x_{21} + 2x_{22} + 3,9x_{23} + 1,5x_{24} + 2,9x_{25} \\ &+ 3,5x_{26} + 1,5x_{27} + 3,9x_{28} + 2,75x_{31} + 1,9x_{32} \\ &+ 3,8x_{33} + 1,8x_{34} + 2,9x_{35} + 2,75x_{36} + 1,8x_{37} \\ &+ 3,8x_{38} + 3x_{41} + 2x_{42} + 4x_{43} + 1,7x_{44} + 2,9x_{45} \\ &+ 3x_{46} + 1,7x_{47} + 4x_{48} + 2,8x_{51} + 1,7x_{52} + 3,9x_{53} \\ &+ 2x_{54} + 2,8x_{55} + 2,8x_{56} + 2x_{57} + 3,9x_{58} \end{aligned}$$

Sujeto a las siguientes Restricciones:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} \geq 1$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} \geq 1$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} \geq 1$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} \geq 1$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} \geq 1$$

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} \geq 1$$

$$x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} \geq 1$$

$$x_{18} + x_{28} + x_{38} + x_{48} + x_{58} \geq 1$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} \leq 2$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} \leq 2$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} \leq 2$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} \leq 2$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{57} + x_{58} \leq 2$$

7.4 MODELO EN EXCEL

Debido a que este problema de asignación de recurso humano no es fraccionable la programación lineal binaria se ajusta mucho a la necesidad porque en la asignación de trabajos, asignara un 1 para el operario de mantenimiento que debe realizar el trabajo en un sistema determinado de la aeronave lo cual ayudara en la toma de decisiones.

Tabla 4:

Tiempo en horas de soluciones de fallas de cada técnico por sistema ATA

LICENCIA	NOMBRE	ATA CODE							
		21	27	28	32	34	35	55	56
TLA	JORGE	3	2	4,1	2	3	3	2	4,1
TLA	CARLOS	3,5	2	3,9	1,5	2,9	3,5	1,5	3,9
TLA	PEDRO	2,75	1,9	3,8	1,8	2,9	2,75	1,8	3,8
TLA	RODRIGO	3	2	4	1,7	2,9	3	1,7	4
TLA	DUBIER	2,8	1,7	3,9	2	2,8	2,8	2	3,9

Fuente. Datos suministrados por control producción.

En el grafico 7 se establecen las variables de decisión o restricciones cuantificadas en cantidad de trabajos a asignar al momento de ejecutar el macro Solver, donde se restringe a que por lo menos se asigne 1 trabajo a cada operario de mantenimiento y donde se restringe la cantidad de trabajo a asignar por sistema, todas estas restricciones son variables y depende de la asignación total a la que se quiera asignar o por requerimientos de mantenimiento.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
21												
22		21	27	28	32	34	35	55	56			
23		1	1	1	1	1	1	1	1			
24												
25		NOMBRE	21									
26		JORGE	1									
27		CARLOS	1									
28		PEDRO	1									
29		RODRIGO	1									
30		DUBIER	1									
31												

Grafico 7. Restricciones de asignación. Fuente elaboración propia.

En el grafico 7 se observa cómo se definen las variables de decisión binarias, pero a diferencia del modelo matemático aquí se deben incluir como una restricción de asignación adicional.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
32									
33			LICENCIA	NOMBRE	TAREAS A REALIZAR	MINIMO A REALIZAR	MAXIMO A REALIZAR		
34			TLA	JORGE	0	1	3		
35			TLA	CARLOS	0	1	3		
36			TLA	PEDRO	0	1	3		
37			TLA	RODRIGO	0	1	3		
38			TLA	DUBIER	0	1	3		
39									
40									
41					TAREAS MINIMAS A REALIZAR POR TECNICO		TAREAS MAXIMAS A REALIZAR POR TECNICO		
42									

Grafico 8. Restricciones de Asignación. Fuente elaboración propia.

En el grafico 8 es donde se ingresan los parámetros para resolver el problema de asignación, primero se establece la celda donde se dará el resultado de la función objetivo, se selecciona minimizar de acuerdo al propósito de disminuir el recurso utilizado, luego se escoge la matriz de resultados binarios que es donde se va a ver representado la asignación final, como último se encuentran las restricciones a las que va estar sujeta el modelo aplicado.

Tabla 5:

Tiempo en horas mínimas y máximas a laborar por jornada.

LICENCIA	NOMBRE	JORNADA MINIMA	JORNADA MAXIMA
TLA	JORGE	1	8
TLA	CARLOS	1	8
TLA	PEDRO	1	8
TLA	RODRIGO	1	8
TLA	DUBIER	1	8

Fuente. Elaboración Propia.

El Tabla 4 representa los limites inferior y superior de la restricción generada para no sobrecargar la jornada laboral de los operarios de mantenimiento, sin embargo, estos límites pueden ser variable de acuerdo al ajuste de las necesidades del cliente.

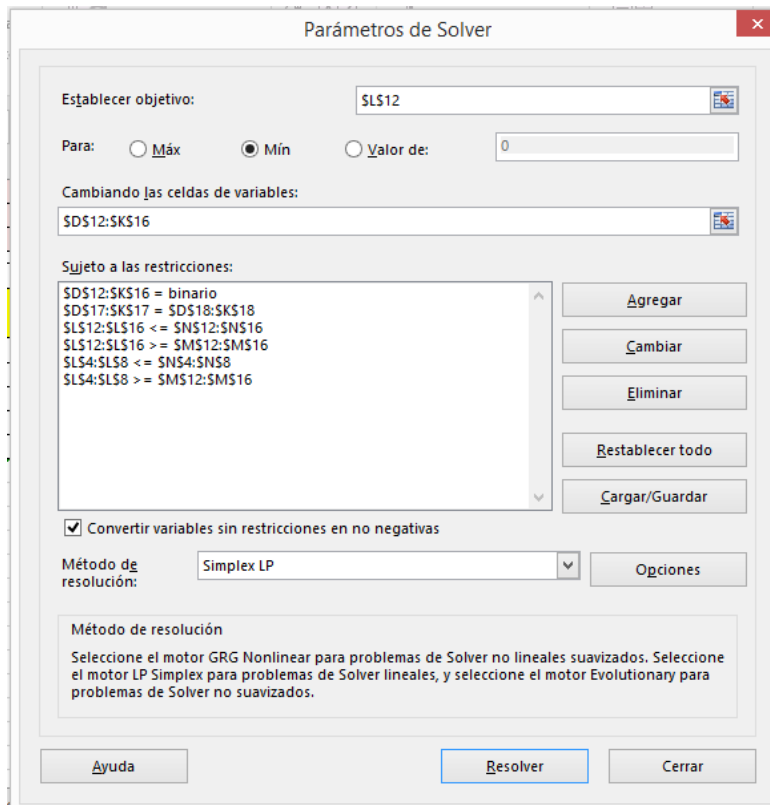


Grafico 9. Planteamiento y formulación en Solver "EXCEL". Fuente elaboración propia.

El grafico 13 representa el planteamiento y la formulación en el menú de Solver donde se establece el lugar de la función objetivo, la opción de maximizar o minimizar como en el ejemplo según sea el caso que para el ejemplo se necesita optimizar el tiempo lo cual será "minimizar", la selección de la matriz de resultados o el lugar donde se generara la asignación en 1 y 0, las restricciones necesarias como lo es que la matriz de asignación o de resultados sea binaria y otras más que se ajustan al requerimiento para la asignación de acuerdo a las restricciones y variables necesarias.

Tabla 6:

Matriz de Asignación Binaria como resultado de la optimización de la función objetivo.

ASIGNACION DE TAREAS										FUNCION OBJETIVO CON PL
LICENCIA	NOMBRE	21	27	28	32	34	35	55	56	
TLA	JORGE	1	0	0	0	0	0	0	0	21,40 HORAS
TLA	CARLOS	0	0	0	1	0	0	0	0	
TLA	PEDRO	0	0	0	0	0	0	1	1	
TLA	RODRIGO	0	0	1	0	0	0	0	0	
TLA	DUBIER	0	1	0	0	1	1	0	0	

Fuente elaboración propia.

La tabla 2 se ve representada la asignación del personal en forma de 1 para asignación y 0 para no asignación; luego de ser analizada la información y la implementación de los modelos para la implementación de este en con la herramienta informática se cumple con el cuarto objetivo específico.

7.5 PRESUPUESTO

Tabla 7:

Valor hora de los sueldos del personal requerido para el mantenimiento

PRESUPUESTO					
	Valor x Hora	Recargo Nocturno	Total Diurno	Total con Recargo	SUELDO
GASTOS					
Personal					
Asistente Administrativo	\$6.250,00	35%	\$50.000,00	\$67.500,00	\$1.500.000,00
Operario de Mantenimiento	\$12.500,00	35%	\$100.000,00	\$135.000,00	\$3.000.000,00
Supervisor de Mantenimiento	\$16.666,00	35%	\$133.328,00	\$179.992,80	\$3.999.840,00
Jefe de Mantenimiento	\$20.833,00	35%	\$166.664,00	\$224.996,40	\$4.999.920,00
Total de actividades	\$56.249,00	\$19.687,15	\$449.992,00	\$607.489,20	\$13.499.760,00

Fuente elaboración propia.

La tabla 3 representa el valor por hora del presupuesto necesario para pagar la mano de obra de mantenimiento, estos valores son valores pagados promedios de acuerdo a los cargos y tiene en cuenta los recargos que por ley tiene derecho el trabajador; así mismo discriminada el personal netamente involucrado en el mantenimiento debido a que la asignación va dirigida a la reducción de horas hombre de mantenimiento y los involucrados son el asistente administrativo quien digita la información realiza pedidos y cargas las horas laboradas al sistema, el operario que es quien realiza las actividades de mantenimiento, el supervisor o inspector de mantenimiento que es el encargado de verificar que los atributos de calidad se cumplan durante el trabajo, así como el jefe de mantenimiento o jefe de hangar que es el encargado de la seguridad en las áreas de trabajo.

8. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN, APRENDIZAJES Y RESULTADOS ESPERADOS

Este modelo de asignación permite realizar una asignación óptima con el fin de minimizar o reducir los costos en horas hombre de mantenimiento se puede contar con la variabilidad de las restricciones que sean necesarias o según sea la necesidad, implementado la herramienta en diferentes tipos de optimización dando cumplimiento final a todos los objetivos específicos.

Para este caso en particular se realiza las restricciones para que cada operario hiciera al menos una tarea durante su jornada laboral y con otra restricción está limitada a que trabajo al menos 1 hora y máximo 8 en su jornada, pero si la optimización de tiempo es el objetivo se puede exceder su jornada laboral, pagando los recargos nocturnos, pero reduciendo la asignación en horas hombre.

Tabla 8:

Matriz de asignación con mejor optimización del recurso sin sobrecargar la jornada laboral.

LICENCIA	NOMBRE	ATA CODE									HORAS A LABORAR
		21	27	28	32	34	35	55	56		
TLA	JORGE	3	2	4,1	2	3	3	2	4,1	3	
TLA	CARLOS	3,5	2	3,9	1,5	2,9	3,5	1,5	3,9	1,5	
TLA	PEDRO	2,75	1,9	3,8	1,8	2,9	2,75	1,8	3,8	5,6	
TLA	RODRIGO	3	2	4	1,7	2,9	3	1,7	4	4	
TLA	DUBIER	2,8	1,7	3,9	2	2,8	2,8	2	3,9	7,3	

Fuente elaboración propia.

Adicionando otra restricción para que la jornada laboral no exceda las 8 horas por turno da como resultado la tabla 4 optimizando la función a 21.4 horas para la solución de todas las tareas cumpliendo con todas las restricciones dadas.

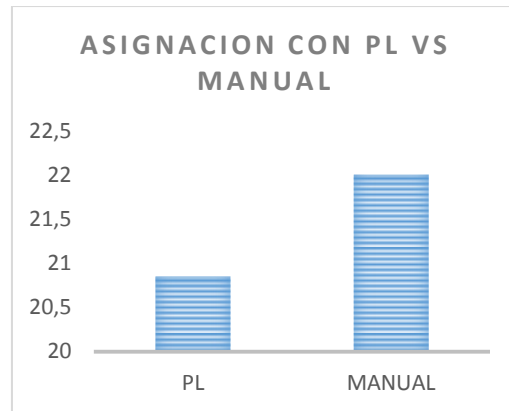


Grafico 10. Asignación Manual Vs asignación PL. Fuente Elaboración Propia

La reducción de tiempo es de 0,4 horas para esta asignación en particular teniendo una reducción de tiempo en un 2,72% para este ejemplo como lo muestra el grafico 15.

$$\% \text{ Reducción de tiempo} = 100 - \left(\frac{100}{\text{Tiempo manual}} (\text{Tiempo con PL}) \right)$$

$$\% \text{ Reducción de tiempo} = 100 - \left(\frac{1}{22} (21,4) \right) = 2,72\%$$

La reducción de costos por horas hombre representada durante este proceso de mantenimiento es de aproximadamente \$33.000,00 de acuerdo al ejemplo.

Tabla 9:

COSTOS HORAS HOMBRE DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO ASIGNACIÓN MANUAL				
	SUELDO HRA	HORA CON RECARGO	HORAS LABORADAS	TOTAL
Asistente Administrativo	\$6.250,00	\$8.437,50	22,00	\$137.500,00
Operario de Mantenimiento	\$12.500,00	\$23.625,00	22,00	\$275.000,00
Supervisor de Mantenimiento	\$16.666,00	\$47.250,00	22,00	\$366.652,00
Jefe de Mantenimiento	\$20.833,00	\$62.997,48	22,00	\$458.326,00
				\$1.237.478,00

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 10:

COSTOS HORAS HOMBRE DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO ASIGNACIÓN CON PL				
	SUELDO HRA	HORA CON RECARGO	HORAS LABORADAS	TOTAL
Asistente Administrativo	\$6.250,00	\$8.437,50	21,40	\$133.750,00
Operario de Mantenimiento	\$12.500,00	\$23.625,00	21,40	\$267.500,00
Supervisor de Mantenimiento	\$16.666,00	\$47.250,00	21,40	\$356.652,40
Jefe de Mantenimiento	\$20.833,00	\$62.997,48	21,40	\$445.826,20
				\$1.203.728,60

Fuente. Elaboración Propia

En la siguiente tabla la optimización de tiempo se reduce en 1,15 horas, de 22 a 20,85 horas, aquí se varió las restricciones de forma que se redujera el tiempo de asignación, Jorge y Rodrigo en este caso no se les asigna trabajo lo que significa que se puede disponer de ellos para otros trabajos y no para esta asignación, solo con Carlos, Pedro y Dubier se daría solución a todas las fallas o a la realización de todas las tareas, y se asumiría los recargos por horas extras de Dubier con el fin de optimizar el tiempo, ahora se hace el análisis para este caso.

Tabla 11:

Asignación con mejoramiento de la función objetivo.

LICENCIA	NOMBRE	ATA CODE										HORAS A LABORAR		
		21	27	28	32	34	35	55	56	JORNADA	MIN	MAX		
TLA	JORGE	3	2	4,1	2	3	3	2	4,1	0	0	13		
TLA	CARLOS	3,5	2	3,9	1,5	2,9	3,5	1,5	3,9	6,9	0	13		
TLA	PEDRO	2,75	1,9	3,8	1,8	2,9	2,75	1,8	3,8	2,75	0	13		
TLA	RODRIGO	3	2	4	1,7	2,9	3	1,7	4	0	0	13		
TLA	DUBIER	2,8	1,7	3,9	2	2,8	2,8	2	3,9	11,2	0	13		
ASIGNACION DE TAREAS										TAREAS A REALIZAR	MINIMO A REALIZAR	MAXIMO A REALIZAR		
LICENCIA	NOMBRE	21	27	28	32	34	35	55	56					
TLA	JORGE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6		
TLA	CARLOS	0	0	1	1	0	0	1	0	3	0	6		
TLA	PEDRO	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6		
TLA	RODRIGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6		
TLA	DUBIER	0	1	0	0	1	1	0	1	4	0	6		

FUNCION OBJETIVO CON PL
20,85 HORAS

Fuente. Elaboración Propia

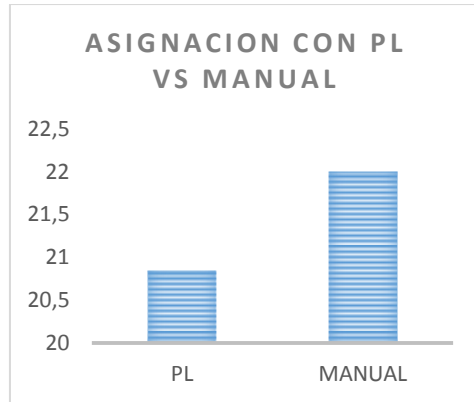


Grafico 11. Asignación Manual Vs asignación PL. Fuente Elaboración Propia

La reducción de tiempo es de 1,15 horas para esta asignación en particular teniendo una reducción de tiempo en un 5,22% para este ejemplo como lo muestra el grafico 15.

$$\% \text{ Reducción de tiempo} = 100 - \left(\frac{100}{\text{Tiempo manual}} (\text{Tiempo con PL}) \right)$$

$$\% \text{ Reducción de tiempo} = 100 - \left(\frac{1}{22} (20,85) \right) = 5,22\%$$

La reducción de tiempo en esta asignación no reduce los costos debido a los recargos por trabajos en horarios extras como lo representa la tabla, pero mejora la disponibilidad de las aeronaves y puede ser aplicable cuando los requerimientos de la aeronave sean urgentes y justifiquen el sobre costos en hora hombre de mantenimiento.

Tabla 12:

COSTOS HORAS HOMBRE DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO CON ASIGNACIÓN POR PL				
	SUELDO HRA	HORA CON RECARGO	HORAS LABORADAS	TOTAL
Asistente Administrativo	\$6.250,00	\$8.437,50	20,85	\$137.312,50
Operario de Mantenimiento	\$12.500,00	\$23.625,00	20,85	\$296.225,00
Supervisor de Mantenimiento	\$16.666,00	\$47.250,00	20,85	\$445.354,90
Jefe de Mantenimiento	\$20.833,00	\$62.997,48	20,85	\$569.294,39
				\$1.448.186,79

Fuente. Elaboración Propia

9. CONCLUSIONES

- Se alcanzaron todos los objetivos propuestos en el ABP, el modelo que se planteó matemáticamente y en Excel realiza la asignación de forma que se optimice el recurso humano de acuerdo a los requerimientos.
- Esta herramienta informática solucionó el problema de asignación en este proceso productivo y dio el modelo de asignación de recursos más óptima para el problema planteado, para al final poder cumplir con el requerimiento del mantenimiento imprevisto en la aeronave B-727 de la Empresa Aeronáutica MPI.
- Mejoro el proceso de asignación de recursos en este proceso en un 2,27%, pasando de 22 horas a 21,4 horas la solución del total de los imprevistos con el mismo personal en el mismo turno de trabajo.
- Con el uso de esta herramienta y el análisis de las condiciones óptimas para mejorar la función objetivo se puede obtener que personal es más *eficiente* que otro durante su jornada laboral.
- Este modelo no se limita a solo 5 operarios de mantenimiento también ser aplicado a equipos de trabajo superiores a esta cantidad de operarios.
- Permite hacer asignaciones versátiles de acuerdo a las necesidades del cliente sea con la reducción de costos o le mejora de alistamiento de las aeronaves.

10.RECOMENDACIONES

- Como sugerencia se recomienda mejorar la pericia o cambiar el personal menos eficiente esto con el fin de mejorar la producción, y optimizar los recursos.
- Mejorar los entrenamientos continuados para mantener al personal con un alto nivel de pericia en el trabajo.
- Realizar capacitación formal y evaluaciones de desempeño de forma rutinaria.
- Mejorar la digitación de los tiempos de tardanza por falla debido a que estos son de vital importancia al momento de asignación de personal.

11. BIBLIOGRAFIA

- Bronson, R, (1982) *Investigación de Operaciones*, México, Ed Mc Graw Hill.
- Winston, Wayne. (2003) "Investigación de Operaciones English Version. 4th Edition, LUGAR. Ed. THOMSON.
- Hillier, Frederick S y Lieberman, Gerard J. (1991), *Investigación de Operaciones*, Edition: 5ª. MEXICO, Ed Mc Graw Hill.
- Ackoff, Russell L y Sasieni, Maurice W, (1977), *Fundamentos de Investigación de Operaciones*, México, Ed. LIMUSA.
- GARY KOCHENBERGER, FRED GLOVER and BAHRAM ALIDAEI, (2002), on line, <http://web.a.ebscohost.com>; an effective approach for solving the binary assignment problem with side constraints.
- Fuerza Aérea Colombiana, Jefatura de Operaciones Aéreas, (2007) *MANUAL DE MANTENIMIENTO AERONAUTICO FAC. BOGOTA. FAC.*
- Saray y. Acuña y Esteban M. _Bautista, (2012), *Balance de carga de trabajo de empleados en asignación de proyectos. Trabajo de grado Ingeniería Industrial. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.*
- Ing. José Luis Albornoz Salazar(año UNK), *Modelo de Asignación*, on line, <http://docplayer.es/14688471-Modelo-de-asignacion-a-15-d-15-a-4-d-4-e-11-e-13-e-1-e-3-metodo-de-transporte-129-ing-jose-luis-albornoz-salazar-130-maxi.html>.

12. ANEXOS

ANEXO A

COMPAÑÍA MPI						
OPERARIO	SISTEMA	TAREA	MATRICULA AERONAVE	H/H REAL	H/H PROMEDIO	H/H ESTIMADA
O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E	21	Inspect heating and ventilating systems as follows: • Open main sliding cover. • Inspect heater ducting for cracks and damage. • Inspect heater bleed-air tubes for cracks and damage. • Check temperature sensing tube to heater mixing valve for security and cracks. • Inspect heater mixing valve and mounting brackets for damage and security. • Inspect blower housing and flange area for cracks. • Inspect attaching hardware and all connections for security. • Check heater mixing valve duct inlet screen for blockage.	HK4401	2,3	3	2
			HJ4402	2,7		
			HK4403	3,3		
			HK4404	3,1		
	27	Inspect flight control system components as follows: • Inspect flight control rod assemblies for evidence of external corrosion. • Inspect flight control rods, bellcranks, levers, supports, and directional control torque shaft for cracks, corrosion, distortion, and security of attaching hardware. Inspect bearings for condition.	HK4401	1,3	2	1,8
			HJ4402	2		
			HK4403	2,4		
			HK4404	1,7		
	28	Inspect fuel cell area as follows: • Inspect internal portion of fuel cell for sludge and organic growth accumulation, release of self sealing compound or punctures. Inspect internal fuel lines, valves, and airframe-to-fuel cell interface connections for chafing and security. • Inspect fuel and vent lines above fuel cells for chafing, distortion, leaks, and security. • Inspect prime pump mount for cracks and security. • Inspect prime pump connection for leaks. • Inspect breakaway valves on vent, main fuel, prime boost pump, and prime boost pump fuel outlet for visible yellow line around center of valve. If yellow line is visible, replace valve.	HK4401	4,3	4,1	3
			HJ4402	4		
			HK4403	4		
			HK4404	4,1		
	32	Inspect main landing gear shock strut assemblies: • Remove main landing gear fairings. • Inspect exposed piston surfaces for nicks, scratches, scoring, and cracks. • Inspect general condition of spherical bearings. • Check for evidence of corrosion and blistering or chalking paint in painted areas. • Service main landing gear shock struts.	HK4401	2,2	2	2
			HJ4402	2		
			HK4403	1,8		
			HK4404	2		
	34	OPERATIONAL CHECKOUT TEST PROCEDURE: 1. Make sure all circuit breakers are pushed in, except those noted being pulled for maintenance or safety. 2. Apply electrical power 3. Place controls (both CSC panel) as indicated: NAV A-Pushed in and rotated to midposition All other RADIO MON/NAV-Pulled out VOL-Midposition Function selector-NORM Mode selector-Any position 4. Position test set in cockpit. 5. Extend the GS/VOR/LOC antennas (test set). 6. Place controls (test set) as indicated: BATTERY-PWR OFF MKR BCN-PWR OFF GLIDESLOPE-PWR OFF LOC-PWR OFF VOR-PWR OFF ATTN dials (2) 0 7. Place COMPASS control panel SLAVED-FREE switch to SLAVED, and momentarily press and turn COMPASS control panel PUSH TO SET control in direction indicated by annunciator to null annunciator (eg.: if annunciator indicates +, turn control towards + to null annunciator). CONDITION/INDICATION Annunciator shall be nulled.	HK4401	3,2	3	2
			HJ4402	3,1		
			HK4403	2,6		
	35	Inspect oxygen system components as follows: • open storage compartment and inspect for fluid leaks. • Inspect passenger and crew oxygen cylinder for cracks, corrosion, distortion and security. • Inspect high pressure lines for cracks, corrosion and security. • Inspect manual actuation cable for cracks, corrosion and security. • Inspect the gauge for level.	HK4401	2,7	3	2
HJ4402			3,2			
HK4403			3,1			
HK4404			3			

V O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E - J O R G E	35	Inspect oxygen system components as follows: • open storage compartment and inspect for fluid leaks. • inspect passenger and crew oxygen cylinder for cracks, corrosion, distortion and security. • inspect high pressure lines for cracks, corrosion and security. • inspect manual actuation cable for cracks, corrosion and security. • inspect the gauge for level.	HK4401	2,7	3	2
			HJ4402	3,2		
			HK4403	3,1		
			HK4404	3		
	55	Inspect stabilator as follows: • Remove stabilator. • Inspect stabilator in accordance with maintenance operator manual. • Remove stabilator actuator. • Inspect Aft EDMS Sensor Harness for chafing and security. • Lubricate fully extended length of stabilator actuator assembly. • Install stabilator actuator. • Install stabilator.	HK4401	1,7	2	1,5
			HJ4402	2		
			HK4403	2,3		
			HK4404	2		
	56	Inspect left and right side cabin exterior as follows: • inspect cabin steps, hand-holds, hand points, and left and right side exterior skins for cracks, corrosion, distortion, and security of fasteners. • inspect antennas, gaskets (where installed), and connectors for damage, cracks, security, and cleanliness. • inspect insulators for cracks and burmarks. • inspect antenna lead-ins and connectors for signs of overheating and damage.	HK4401	4	4,1	3,5
			HJ4402	3,3		
			HK4403	4,2		
			HK4404	4,3		
- C A R L O S - C A R L O S - C A R L O S - C A R L O S - C A R L O S - C A	21	Inspect heating and ventilating systems as follows: • Open main sliding cover. • inspect heater ducting for cracks and damage. • inspect heater bleed-air tubes for cracks and damage. • Check temperature sensing tube to heater mixing valve for security and cracks. • inspect heater mixing valve and mounting brackets for damage and security. • inspect blower housing and flange area for cracks. • inspect attaching hardware and all connections for security. • Check heater mixing valve duct inlet screen for blockage.	HK4401	3,1	3,5	2
			HJ4402	3,3		
			HK4403	4,5		
			HK4404	3,1		
	27	Inspect flight control system components as follows: • inspect flight control rod assemblies for evidence of external corrosion. • inspect flight control rods, bellcranks, levers, supports, and directional control torque shaft for cracks, corrosion, distortion, and security of attaching hardware. Inspect bearings for condition.	HK4401	1,3	2	1,8
			HJ4402	2		
			HK4403	1,3		
	28	Inspect fuel cell area as follows: • inspect internal portion of fuel cell for sludge and organic growth accumulation, release of self sealing compound or punctures. inspect internal fuel lines, valves, and airframe-to-fuel cell interface connections for chafing and security. • inspect fuel and vent lines above fuel cells for chafing, distortion, leaks, and security. • inspect prime pump mount for cracks and security. • inspect prime pump connection for leaks. • inspect breakaway valves on vent, main fuel, prime boost pump, and prime boost pump fuel outlet for visible yellow line around center of valve. If yellow line is visible, replace valve.	HK4401	3,7	3,3	3
			HJ4402	4,2		
			HK4403	3,3		
			HK4404	3,8		
	32	Inspect main landing gear shock strut assemblies: • Remove main landing gear fairings. • inspect exposed piston surfaces for nicks, scratches, scoring, and cracks. • inspect general condition of spherical bearings. • Check for evidence of corrosion and blistering or flaking paint in painted areas. • Service main landing gear shock struts.	HK4401	1,3	1,5	2
HJ4402			1,5			
HK4403			1,5			
HK4404			1,7			

R L O S - C A R L O S - C A R L O S - C A R L O S - C A R L O S - C A R L O S - C A R L O S - C	34	<p>OPERATIONAL CHECKOUT TEST PROCEDURE:</p> <p>1. Make sure all circuit breakers are pushed in, except those noted being pulled for maintenance or safety.</p> <p>2. Apply electrical power</p> <p>3. Place controls (both CSC panel) as indicated: NAV A-Pushed in and rotated to midposition All other RADIO MON/NAV-Pulled out VOL-Midposition Function selector-NORM Mode selector-Any position</p> <p>4. Position test set in cockpit.</p> <p>5. Extend the GS/VOR/LOC antennas (test set).</p> <p>6. Place controls (test set) as indicated: BATTERY-PWR OFF MKR BCN-PWR OFF GLIDESLOPE-PWR OFF LOC-PWR OFF VOR-PWR OFF ATTEN disls (2) 0</p> <p>7. Place COMPASS control panel SLAVED-FREE switch to SLAVED, and momentarily press and turn COMPASS control panel PUSH TO SET control in direction indicated by annunciator to null annunciator (eg.: if annunciator indicates +, turn control towards + to null annunciator).</p> <p>CONDITION/INDICATION Annunciator shall be nulled.</p>	HK4401	2,3	2,3	2
			HJ4402	3,2		
			HK4403	2,7		
			HK4404	2,8		
35	<p>Inspect oxygen system components as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> • open storage compartment and inspect for fluid leaks. • Inspect passenger and crew oxygen cylinder for cracks, corrosion, distortion and security. • Inspect high pressure lines for cracks, corrosion and security. • Inspect manual actuation cable for cracks, corrosion and security. • Inspect gauge for level. 	HK4401	3,3	3,5	2	
		HJ4402	3			
		HK4403	3,5			
		HK4404	3,6			
55	<p>Inspect stabilator as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remove stabilator. • Inspect stabilator in accordance with maintenance operator manual. • Remove stabilator actuator. • Inspect Aft EOMS Sensor Harness for chafing and security. • Lubricate fully extended length of stabilator actuator assembly. • Install stabilator actuator. • Install stabilator. 	HK4401	1,3	1,5	1,5	
		HJ4402	1,3			
		HK4403	1,8			
		HK4404	1,6			
56	<p>Inspect left and right side cabin exterior as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspect cabin steps, hand-holds, hand points, and left and right side exterior skins for cracks, corrosion, distortion, and security of fasteners. • Inspect antennas, gaskets (where installed), and connectors for damage, cracks, security, and cleanliness. • Inspect insulators for cracks and burnmarks. • Inspect antenna lead-ins and connectors for signs of overheating and damage. 	HK4401	4	3,3	3,5	
		HJ4402	3,3			
		HK4403	4			
		HK4404	3,7			
P E D R O - P E D R O - P E D R O - P E D R O - P E D R O	21	<p>Inspect heating and ventilating systems as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Open main sliding cover. • Inspect heater ducting for cracks and damage. • Inspect heater bleed-air tubes for cracks and damage. • Check temperature sensing tube to heater mixing valve for security and cracks. • Inspect heater mixing valve and mounting brackets for damage and security. • Inspect blower housing and large area for cracks. • Inspect attaching hardware and all connections for security. • Check heater mixing valve duct inlet screen for blockage. 	HK4401	2,5	2,75	2
			HJ4402	2,7		
			HK4403	3		
			HK4404	2,8		
27	<p>Inspect flight control system components as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspect flight control rod assemblies for evidence of external corrosion. • Inspect flight control rods, bellcranks, levers, supports, and directional control torque shaft for cracks, corrosion, distortion, and security of attaching hardware. • Inspect bearings for condition. 	HK4401	1,3	2	1,8	
		HJ4402	2			
		HK4403	1,3			
		HK4404	2,4			
28	<p>Inspect fuel cell area as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspect internal portion of fuel cell for sludge and organic growth accumulation, release of self sealing compound or punctures. Inspect internal fuel lines, valves, and airframe-to-fuel cell interface connections for chafing and security. • Inspect fuel and vent lines above fuel cells for chafing, distortion, leaks, and security. • Inspect prime pump mount for cracks and security. • Inspect prime pump connection for leaks. • Inspect breakaway valves on vent, main fuel, prime boost pump, and prime boost pump fuel outlet for visible yellow line around center of valve. If yellow line is visible, replace valve. 	HK4401	3,8	3,8	3	
		HJ4402	4,1			
		HK4403	3,6			
		HK4404	3,7			

I E R - D U B I E R - D U B I E R - D U B I E R - D U B I E R - D U B I E R - D U B I E R	34	<p>OPERATIONAL CHECKOUT TEST PROCEDURE:</p> <p>1. Make sure all circuit breakers are pushed in, except those noted being pulled for maintenance or safety.</p> <p>2. Apply electrical power</p> <p>3. Place controls (both CSC panel) as indicated: NAV A-Pushed in and rotated to midposition All other RADIO MON/NAV-Pulled out VOL-Midposition Function selector-NORM Mode selector-Any position</p> <p>4. Position test set in cockpit.</p> <p>5. Extend the GS/VOR/LOC antennas (test set).</p> <p>6. Place controls (test set) as indicated: BATTERY-PWR OFF MKR BCN-PWR OFF GLIDESLOPE-PWR OFF LOC-PWR OFF VOR-PWR OFF ATTEN dial (2) 0</p> <p>7. Place COMPASS control panel SLAVED-FREE switch to SLAVED, and momentarily press and turn COMPASS control panel PUSH TO SET control in direction indicated by annunciator to null annunciator (eg: if annunciator indicates +, turn control towards + to null annunciator).</p> <p>CONDITION/INDICATION Annunciator shall be nulled.</p>	HK4401	2,3	2,8	2
			HJ4402	3		
			HK4403	2,7		
			HK4404	2,6		
35	<p>Inspect oxygen system components as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> * open storage compartment and inspect for fluid leaks. * Inspect passenger and crew oxygen cylinder for cracks, corrosion, distortion and security. * Inspect high pressure lines for cracks, corrosion and security. * Inspect manual actuation cable for cracks, corrosion and security. * Inspect gauge for level. 	HK4401	2,3	2,8	2	
		HJ4402	3,1			
		HK4403	2,4			
		HK4404	2,8			
55	<p>Inspect stabilator as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Remove stabilator. * Inspect stabilator in accordance with maintenance operator manual. * Remove stabilator actuator. * Inspect Aft EDMS Sensor Harness for chafing and security. * Lubricate fully extended length of stabilator actuator assembly. * Install stabilator actuator. * Install stabilator. 	HK4401	2	2	1,5	
		HJ4402	1,5			
		HK4403	2,4			
		HK4404	2,1			
R - D U B I E R	56	<p>Inspect left and right side cabin exterior as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Inspect cabin steps, hand-holds, hand points, and left and right side exterior skins for cracks, corrosion, distortion, and security of fasteners. * Inspect antennas, gaskets (where installed), and connectors for damage, cracks, security, and cleanliness. * Inspect insulators for cracks and burnmarks. * Inspect antenna lead-ins and connectors for signs of overheating and damage. 	HK4401	4,3	3,3	3,5
			HJ4402	3,6		
			HK4403	4		
			HK4404	3,7		