



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Ingeniería en sistemas

Reporte del avance del proyecto #1

“Construcción de la línea 3 del Tren Ligero de Guadalajara”

Alumnos: Gabriela López Vargas

Octavio Valencia Melo

Alonso Mendoza Itzel

Profesor: DR. JUAN ANTONIO DEL VALLE FLORES

Grupo: 04



Índice

Descripción del proyecto*****	3
1.- INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE DECISIONES *****	6
1.1. Elementos de un problema*****	6
1.2.- Modelos del problema*****	8
2.- DECISIONES BAJO CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE*****	11
2.1.- Principios Maximin y Minimax*****	11
2.2 Principios Maximax y Minimin*****	11
2.3 Principio de Hurwics*****	11
2.4 Criterio de Laplace*****	12
2.5 Criterio de Savage, modelo de arrepentimiento*****	12
3.- DECISIONES BAJO CONDICIONES DE RIESGO*****	14
3.1.- Maximización o minimización del valor esperado y varianza.*****	14
3.2.- Principio del más probable futuro*****	14
3.3.- Principio del nivel esperado*****	15
4.-VALOR DE LA INFORMACIÓN EN LAS DECISIONES*****	16
4.1.-Información perfecta*****	16
4.2.-Información imperfecta**.*	17
5.- EL ENFOQUE DE LA UTILIDAD EN LAS DECISIONES *****	19
5.1 .-Concepto de Equivalente Bajo Certeza*****	20
5.2.- El Concepto de Lotería.*	20
5.3.- Construcción de Curvas de Utilidad*****	21
5.4.-Análisisde las Actitudes del Decisor.*	26
6.- MULTIOBJETIVOS*****	28
5.1 .-Independencia entre los objetivos***	28
5.2.-Funciones de utilidad multilineales.*	30
5.3.- Cálculo de las constanstes k_i y K *****	31
CONCLUSIÓN*****	35
REFERENCIAS*****	36

Construcción de la línea 3 del Tren Ligero de Guadalajara

Proyecto de transporte masivo de pasajeros en la modalidad de tren ligero entre los municipios de Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque, Jalisco.

Descripción del proyecto

La línea 3 del Tren Ligero de Guadalajara unirá los Centros Históricos de Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque, por medio de la Diagonal de Av. Laureles, Av. Ávila Camacho, Av. 16 de Septiembre y Av. Revolución hasta llegar a la Nueva Central de Camiones. Recorrerá 21.45 km del Norponiente al Suroriente de la Ciudad con 18 estaciones, que serán 3 subterráneas, 2 a nivel y 13 elevadas. En el diseño de las estaciones se contempló una longitud máxima de andén de 75 metros.

La flota inicial en operación del proyecto, será de 16 trenes con una capacidad estimada de 500 pasajeros por tren. Esta nueva línea de tren ligero, dará servicio en su apertura a 233,000 personas diariamente, dando confiabilidad a los pasajeros, tanto en sus tiempos de traslado, como en la seguridad del sistema.

Estudios realizados indican que la velocidad del transporte público en esta zona de Guadalajara pasará de 16km/h actualmente a 12km/h en 15 años, lo que implicará un incremento significativo de los tiempos de traslados de los usuarios del transporte público, que generarán incentivos para el uso del automóvil.

Con la construcción de la línea el tiempo de recorrido de terminal a terminal se estima en 33 minutos, sirviendo a 233,000 usuarios aproximadamente al inicio de su operación, y estimando una cantidad de 348,000 usuarios para el año 2040.



PROBLEMÁTICA

¿A qué empresa se le adjudicará la licitación para el desarrollo de los trenes a usar en la línea 3 del tren ligero de Guadalajara, procurando que cumpla con las características solicitadas por el proyecto y que además brinde seguridad a futuro?

Las especificaciones técnicas solicitadas para los trenes son las siguientes:

- Tensión nominal de alimentación 600VCD, captación por catenaria.
- Sistema de Tracción tipo asíncrono.
- Potencia nominal del motor de tracción de 265 KW.
- Control el sistema de tracción por microprocesador.
- Relación de transmisión 5.625:1.
- Bogie tipo H mecanosoldado; cada vehículo tiene 2 bogies motrices (monomotores) y un remolque.
- Tipo de tracción GTO.
- Bidireccional con dos cabinas de conducción.
- Generación de tensión alterna trifásica, 4 hilos: 220 VAC 60 HZ a través de un convertidor estático.
- Generación de tensión directa a través de baterías de acumuladores; mantiene su carga por un convertidor estático.
- Laminación y estructura de acero de alta resistencia y baja aleación.

- Enganche automático entre vehículos que permite acoplamientos mecánico, eléctrico y neumático.
- Sistema de frenado eléctrico regenerativo, eléctrico reostático, neumático y electromagnético de emergencia y de estacionamiento.
- Suspensión primaria tipo chevrón.
- Suspensión secundaria neumática.
- Ventilación: condición de confort de 28,000 m³/h de aire nuevo proporcionado por 14 motoventiladores de tipo axial.
- Ventanas tipo abatible: parte inferior fija, parte superior basculante.
- Puertas de acceso de pasajeros tipo deslizante.
- Puerta de acceso a cabina por el interior tipo vaivén

La capacidad y funcionamiento propuestos para los trenes son:

- Pasajeros sentados 100
- Pasajeros de pie 500
- Total de pasajeros 600
- Velocidad máxima de servicio 70 km/h.
- Velocidad comercial estimada tomando en cuenta el trazo y las estaciones: 35km/h
- Aceleración máxima 1.0 m/seg²
- Desaceleración de servicio (a $\frac{3}{4}$ carga máx.) 1.0m/seg²
- Desaceleración de emergencia (con carga máx.) 1.8m/seg²
- Radio mínimo de curvatura horizontal 25 m
- Radio mínimo de curvatura vertical 250 m

Las dimensiones y peso de los trenes se presentan a continuación:

- Longitud del tren 29.560 m
- Ancho exterior 2.650 m
- Ancho interior 2.440 m
- Altura máxima 3.570 m
- Altura del piso 1.020 m
- Altura máxima del pantógrafo 6.268 m
- Altura mínima del pantógrafo 3.868 m
- Altura interior 2.142 m
- Altura claro libre puerta de acceso 1.900 m
- Ancho claro libre puerta de acceso 1.300 m
- Características de la rueda metálica 0.740 m $\varnothing$
- Radio de la llanta 0.370 m
- Distancia entre ejes de bogies 2.100 m
- Distancia entre centros de bogies 10.300 m
- Distancia entre caras de ruedas 1.360 m
- Ancho de vía 1.435 m

- Peso vacío 40,000 kg
- Peso de carga con capacidad máx. (300 pasajeros) 61,000 kg

1.- INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE DECISIONES

1.1. Elementos de un problema

Decisor: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

Analista: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Alternativas:

A1.- Bombardier:

Bombardier Inc. es una empresa de Canadá, con sede en Montreal, Quebec. Actúa en el ramo de la producción de material para ferrocarril, donde es considerada por todos como la líder mundial, aviones regionales y otros servicios comerciales.

Bombardier Transportation México S.A. de C.V. cuyo nombre inicial fue Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril S.A. de C.V., es una empresa mexicana co-dependiente de Bombardier Inc., fabricante de ferrocarriles. Su sede está ubicada en Ciudad Sahagún, Hidalgo, en México. Esta empresa fue creada en 1952 pero fue comprada por la canadiense Bombardier en 1992.

Bombardier Transportation México ha construido ferrocarriles que circulan actualmente en la red ferroviaria de México. Asimismo, fabricó trenes para sistemas de transporte dentro de las áreas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey y en 1988 para Santiago de Chile en Chile.

Su trabajo más reciente fue junto a la empresa española Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, cuando fabricó y arrendó 45 trenes de rodadura neumática para México; estos trenes actualmente circulan en la Línea 2 del Metro de la Ciudad de México y varios en la Línea 7 del Metro de la Ciudad de México y son los más actuales e innovadores en la red del Metro de dicha ciudad, refiriéndose a trenes de neumáticos.

A2.- Alstom

Alstom es una corporación francesa centrada en el negocio de la generación de electricidad y la fabricación de trenes.

Construyó los primeros trenes de neumáticos del Metro para México, D. F.: el modelo MP-68 para la línea 1, que después en los años de 1994-1999 fueron

rehabilitados por CAF, y los que circulan en las líneas 5, B y que están regresando a la línea 7 fueron rehabilitados por Bombardier Transportation.

También construyó los vagones modelo MP-82, que circularon durante un tiempo en las líneas 7 y 1, pero después fueron repotenciados para la línea 8. Además Alstom prestaba asistencia técnica a la desaparecida Constructora Nacional de Carros de Ferrocarril en Ciudad Sahagún, en el estado de Hidalgo, para la construcción de trenes para el Metro de la Ciudad de México desde 1976 en modelos denominados NM-73A, NM-73B, NM-73C y NM-79.

A3.- CAF

Empresa española que lleva décadas construyendo trenes y material ferroviario para las redes de tranvía, ferrocarril metropolitano, metro de neumáticos, de cercanías, de largo recorrido y de alta velocidad más importantes del mundo.

Para la Ciudad de México ha desarrollado los siguientes modelos de tren:

- NE-92: 15 trenes de rodadura neumática, los primeros creados con este tipo de rodadura por la empresa (1992-1994).
- Rehabilitación de trenes de los modelos MP-68, NM-73 Y NM-83 (1996-1998).
- FM-95A: Colaboración con Bombardier Transportation México para la construcción y arrendamiento de 13 trenes de este modelo (1995-1999)
- NM-02: 45 trenes de rodadura neumática, construidos junto a Bombardier Transportation México (2002-2006).
- FE-07: 9 trenes de rodadura férrea para la Línea A del Metro de la Ciudad de México (2007-2010).
- FE-10: 30 trenes de rodadura férrea para la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México (2010-2012).

En Monterrey ha desarrollado:

- Unidades eléctricas articuladas MM93 para el metro de Monterrey (2004-2005).
- Segundo pedido de unidades eléctricas para el metro de Monterrey (2014-2015).

CAF también se encarga de construir, explotar y operar el Ferrocarril Suburbano del Valle de México. Dicha empresa suministró un tren derivado de la UT-446/447 española, cuyo modelo es UT-01, pero con tecnología de punta.

Estados de la naturaleza:

E1.- Los trenes son los adecuados y por lo tanto el costo de mantenimiento se encuentra dentro de lo estimado. Probabilidad de 0.35.

E2.- Los trenes adquiridos no se amoldan a la perfección a lo planeado originando un sobre costo en el mantenimiento. Probabilidad de 0.45.

E3.- Los trenes son severamente inadecuados dando como resultado la necesidad de modificarlos e incluso comprar otros. Probabilidad de 0.20.

Justificación de las probabilidades

E1.- Teniendo en cuenta todos los estudios de planeación e ingeniería realizados, los cuales son de acceso público en la página web del proyecto, se puede concluir que se ha trabajado seriamente en el proyecto y esperando realmente que se ejecute con eficacia el proyecto se decidió otorgar una probabilidad promedio a este estado de la naturaleza.

E2.- En la zona de construcción del proyecto se están generando hundimientos, prueba de esto son los localizados en el barrio del Santuario, en donde se abrió un boquete de 4 metros de profundidad. Este pequeño suceso no se había tenido en mente por lo que asumimos que es mayormente probable que los costos de mantenimiento correctivo sean mayores a los previstos.

E3.- Para esta probabilidad se tomó en cuenta los últimos acontecimientos sucedidos en la línea 12 del metro de la Ciudad de México, ya que si bien se esperaba que lo planeado coincidiera con lo ejecutado, en este caso se tuvo un grave problema en cuanto a los trenes y las vías, por lo que se tuvieron que realizar trabajos de rehabilitación en un gran tramo de la línea. Así que, aunque está probabilidad se podría sugerir pequeña, debido a las grandes irregularidades que se han presentado en los últimos años en la rama de la construcción, decidimos aumentarla un poco.

1.2.- Modelos del problema

Matriz de decisiones

Para la asignación de costos se han tomado como referencia proyectos realizados por cada empresa, así como también noticias referentes al costo de mantenimientos de estaciones en la Ciudad de México.

Tanto las alternativas A1 Y A2 tienen un costo por mantenimiento de 250 millones de pesos mientras que la A3 tiene un costo de 200 mdp; si los trenes

no son 100% adecuados la A1 y la A3 tendrán un sobre costo de 150 mdp y a su vez la A2 de 50 mdp. Si no existe compatibilidad entre los trenes y las vías, los costos por los cambios serán de 750, 800 y 1000 mdp respectivamente para cada alternativa, por lo que la matriz de decisiones quedará de la siguiente forma:

	E1, $P(E1)=0.35$	E2, $P(E2)=0.45$	E3, $P(E3)=0.20$
A1 Bombardier	250	400	750
A2 Alstom	250	300	800
A3 CAF	200	350	1000

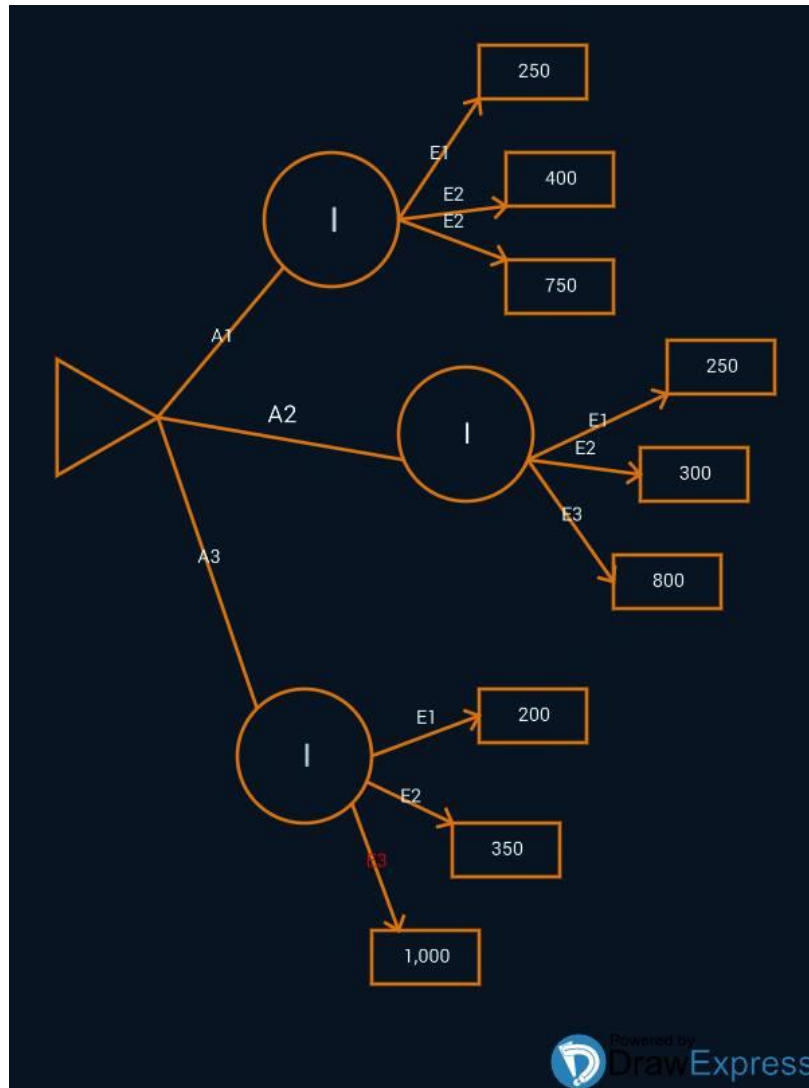
Dominancia

Revisando que para la matriz de alternativas y estados de la naturaleza, no exista la dominancia de alguna alternativa.

En el estado de la naturaleza 1, el menor costo lo tiene la alternativa A3; para el estado 2 el menor costo sería la alternativa A2; por último para el estado 3, la alternativa 1 tiene el menor costo, por lo tanto ninguna alternativa es doblemente preferible en la matriz comprobándose que no hay dominancia de ninguna alternativa.



Modelo gráfico, árbol de decisiones



Comentario tema 1

En este tema sólo se ha planteado lo necesario para la búsqueda de la mejor alternativa en los temas posteriores, sin embargo cabe destacar la importancia de organizar y aclarar los elementos que se tienen para poder resolver con mayor eficacia el problema.

2.- DECISIONES BAJO CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE

2.1.- Principios Maximin y Minimax

Minimax

Dado que se tiene una matriz de costos, los mayores costos han sido destacados en rojo.

	E1	E2	E3
A1 Bombardier	250	400	750
A2 Alstom	250	300	800
A3 CAF	200	350	1000

El menor costo de los destacados en rojo es 750 por lo que bajo este criterio la mejor alternativa sería **A1**, contratar a **Bombardier**.

2.2 Principios Maximax y Minimin

Minimin

Los menores costos se destacaron con rojo en la matriz.

	E1	E2	E3
A1 Bombardier	250	400	750
A2 Alstom	250	300	800
A3 CAF	200	350	1000

Teniendo una actitud optimista el menor de estos costos es 200, siendo así la mejor opción la alternativa **A3 CAF**.

2.3 Principio de Hurwics

Marcando con azul los mejores costos, y con rojo los peores costos

	E1	E2	E3
A1 Bombardier	250	400	750
A2 Alstom	250	300	800
A3 CAF	200	350	1000

Si $\beta = 0.80$ entonces:

$$V(A1) = 0.80 (250) + 0.20(750) = 350$$

$$V(A2) = 0.80(250) + 0.20(800) = 360$$

$$V(A3) = 0.80(200) + 0.20(1000) = 360$$

En este caso dado que se tiene una matriz de costos el resultado sería tomar la opción **A1, Bombardier**.

2.4 Criterio de Laplace

	E1	E2	E3
A1 Bombardier	250	400	750
A2 Alstom	250	300	800
A3 CAF	200	350	1000

Al tener 3 estados de la naturaleza, la probabilidad será de 0.33

$$VE(A1) = 0.33(250) + 0.33(400) + 0.33(750) = 462$$

$$VE(A2) = 0.33(250) + 0.33(300) + 0.33(800) = 445.5$$

$$VE(A3) = 0.33(200) + 0.33(350) + 0.33(1000) = 511.5$$

Tomando el criterio de lo menos que se pueda perder, la alternativa sería **A2, Alstom**.

2.5 Criterio de Savage, modelo de arrepentimiento

Los menores costos para cada estado de la naturaleza se marcaron con azul, en la matriz de arrepentimientos, los mayores arrepentimientos se marcaron con rojo.

	E1	E2	E3
A1 Bombardier	250	400	750
A2 Alstom	250	300	800
A3 CAF	200	350	1000

Por lo tanto de la matriz de arrepentimientos el menor arrepentimiento es de 50, siendo la elección la alternativa **A2 Alstom** como se muestra en la matriz:

	E1	E2	E3
A1 Bombardier	50	100	0
A2 Alstom	50	0	50
A3 CAF	0	50	250



Conclusión del tema 2

Los criterios de incertidumbre vistos en este tema no eligieron como mejor alternativa a una sola, sino que las tres alternativas fueron escogidas como la mejor por al menos uno de estos criterios; en todo caso hubo un empate entre las alternativas A1(Bombardier) Y A2(Alstom), al ser elegidas por dos criterios cada una. Esto nos lleva a la conclusión de que aún con el uso de varios criterios matemáticos no siempre se llega a una solución única.

3.- DECISIONES BAJO CONDICIONES DE RIESGO

3.1.- Maximización o minimización del valor esperado y varianza.

	E1, P(E1)=0.35	E2, P(E2)= 0.45	E3, P(E3)=0.20
A1 Bombardier	250	400	750
A2 Alstom	250	300	800
A3 CAF	200	350	1000

$$E(A1) = (250 \cdot 0.35) + (400 \cdot 0.45) + (750 \cdot 0.2) = 417.5$$

$$E(A2) = (250 \cdot 0.35) + (300 \cdot 0.45) + (800 \cdot 0.2) = 382.5$$

$$E(A3) = (200 \cdot 0.35) + (350 \cdot 0.45) + (1000 \cdot 0.2) = 427.5$$

Dado que se tiene una matriz de costos, y se espera tener el menor posible se tomará el menor valor esperado que es 382.5, escogiendo la alternativa **A2 Alstom**.

Varianza

Revisando por varianza:

$$V(A1) = 0.35(250-417.5)^2 + 0.45(400-417.5)^2 + 0.2(750-417.5)^2 = 32068.75$$

$$V(A2) = 0.35(250-382.5)^2 + 0.45(300-382.5)^2 + 0.2(800-382.5)^2 = 44068.75$$

$$V(A3) = 0.35(200-427.5)^2 + 0.45(350-427.5)^2 + 0.2(1000-427.5)^2 = 86368.75$$

Al tratarse de una matriz de costos se busca el menor valor, por lo que la mejor opción según el criterio de la varianza sería la alternativa **A1 Bombardier**.

3.2.- Principio del más probable futuro

El estado de la naturaleza con mayor probabilidad de ocurrencia es el 2, con una probabilidad de 0.45. Por lo que la matriz quedaría como:

	E2, P(E2)=1
A1 Bombardier	400
A2 Alstom	300
A3 CAF	350

Bajo este criterio la alternativa que nos generaría un menor costo sería **A2 Alstom**.

3.3.- Principio del nivel esperado

Dado que la matriz representa costos, se fija como nivel que el máximo costo que se pueda tener sea de 350, por lo que se deberán tomar en cuenta aquellos valores que sean menores a este límite.

	E1, P(E1)=0.35	E2, P(E2)= 0.45	E3, P(E3)=0.20
A1 Bombardier	250	400	750
A2 Alstom	250	300	800
A3 CAF	200	350	1000

Entonces:

Para A1

$$P(\text{costo} \leq 400) = P(E_1) = 0.35 = 0.35$$

Para A2

$$P(\text{costo} \leq 400) = P(E_1) + P(E_2) = 0.35 + 0.45 = 0.80$$

Para A3

$$P(\text{costo} \leq 400) = P(E_1) + P(E_2) = 0.35 + 0.45 = 0.80$$

De acuerdo a este principio, tanto la **alternativa 2 (Alstom)** como la **3 (CAF)** son igualmente preferibles, al tener la mayor probabilidad y misma para ambos casos.

Conclusión tema 3

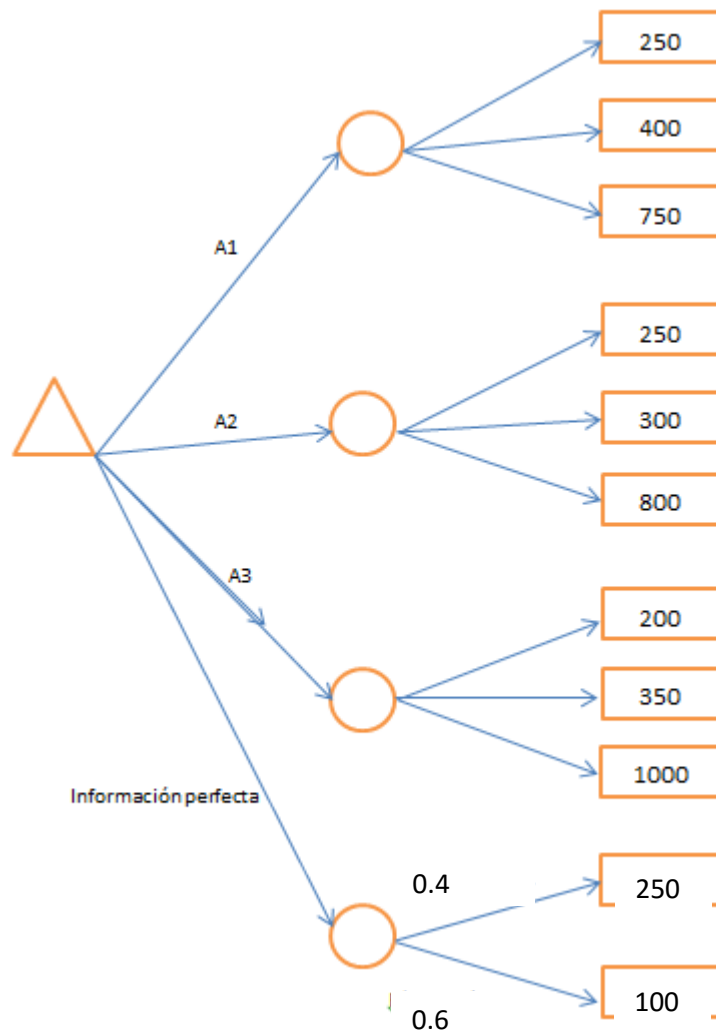
Aplicando los principios de este tema la alternativa que destacó fue la alternativa A2(Alstom), los métodos que se utilizaron fueron sin embargo más sencillos que los usados en condiciones de incertidumbre por lo que podrían ser cuestionables los resultados. Pero de todas formas se deben tomar como válidos los resultados, así que según estos criterios la mejor alternativa es Alstom.

4.- VALOR DE LA INFORMACIÓN EN LAS DECISIONES

4.1.- Información perfecta

La información perfecta se obtiene de forma hipotética, suponiendo que la predicción perfecta nos dice que escojamos el tren que escojamos el mantenimiento será el pronosticado en nuestro estudio de costos, entonces el máximo costo será de 250. Por el contrario si la predicción nos dice que se van a existir sobrecostos de mantenimiento entonces el mínimo costo posible será de 1000.

Teniendo el siguiente árbol de deciones:



$$VE(IP) = (250 \cdot 0.4) + (1000 \cdot 0.6) = 700$$

$$V(IP) = 700 - 382.5 = 317.5$$

4.2.- Información imperfecta

Si se contrata a una empresa para realizar un estudio a diferentes trenes ya en operación, con el objetivo de determinar el tipo de mantenimiento que se presenta con más frecuencia en estos, se tienen dos posibilidades:

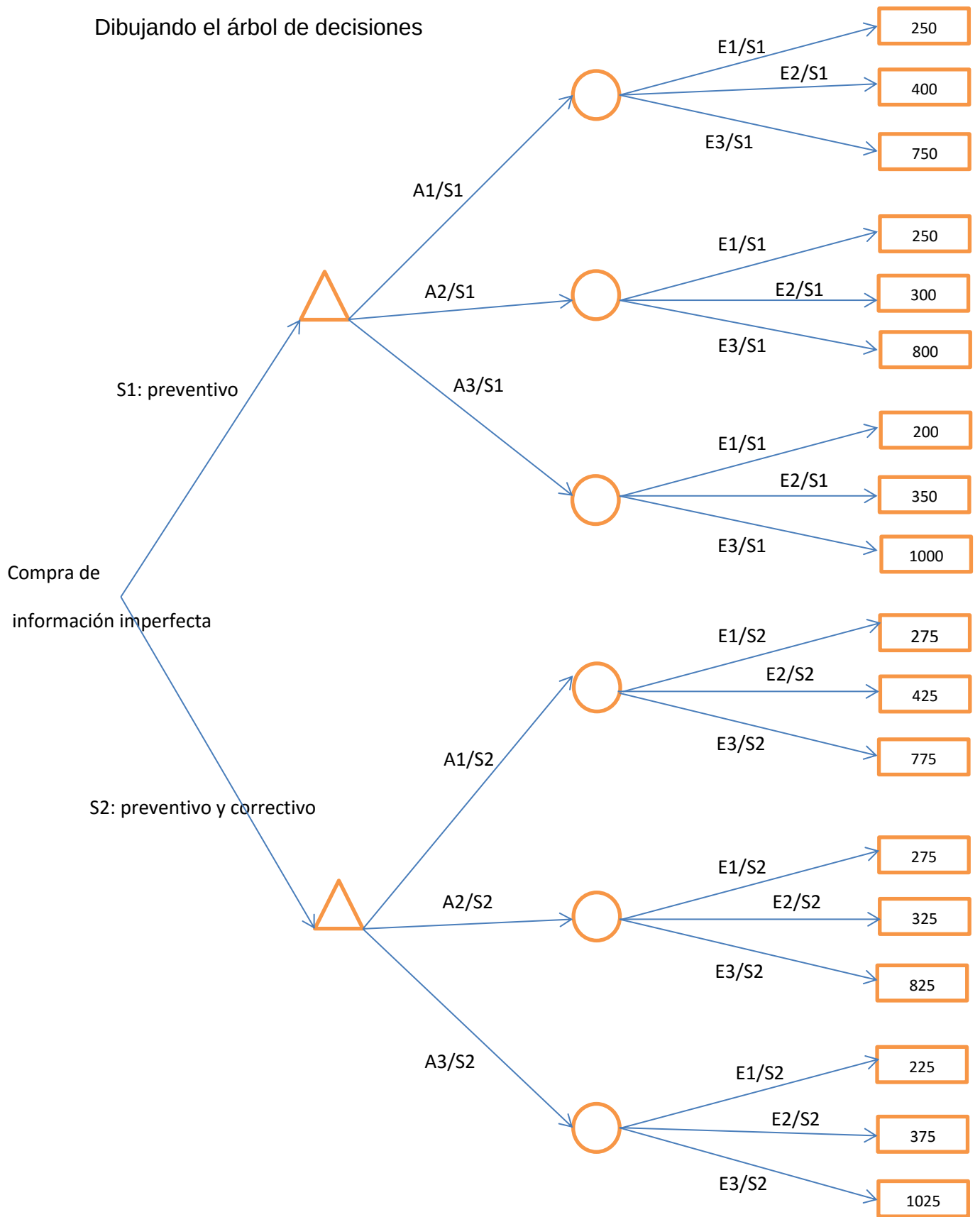
S_1 : El estudio es exitoso, lo que nos significaría que el mantenimiento preventivo domina.

S_2 : El estudio está mal, por lo que se tendría que agregar al mantenimiento preventivo un mantenimiento correctivo constante, generando un sobre costo de 25 mil.

Como resultado del estudio se obtuvieron las siguientes probabilidades condicionantes:

$P(S_1/E_1) = 0.3$	$P(S_1/E_2) = 0.4$	$P(S_1/E_3) = 0.6$
$P(S_2/E_1) = 0.7$	$P(S_2/E_2) = 0.6$	$P(S_2/E_3) = 0.4$

Dibujando el árbol de decisiones



Para determinar las probabilidades posteriores:

$$P(S1) = P(S1/E1) P(E1) + P(S1/E2) P(E2) + P(S1/E3) P(E3)$$

$$P(S1) = (0.3*0.35) + (0.4*0.45) + (0.6*0.2) = 0.405$$

$$P(S2) = P(S2/E1) P(E1) + P(S2/E2) P(E2) + P(S2/E3) P(E3)$$

$$P(S2) = (0.7*0.35) + (0.6*0.45) + (0.4*0.2) = 0.595$$

Ahora para las probabilidades condicionales:

$$P(E1/S1) = [P(S1/E1) P(E1)] / P(S1) = [0.3*0.35] / 0.405 = 0.26$$

$$P(E2/S1) = [P(S1/E2) P(E2)] / P(S1) = [0.4*0.45] / 0.405 = 0.44$$

$$P(E3/S1) = [P(S1/E3) P(E3)] / P(S1) = [0.6*0.2] / 0.405 = 0.3$$

$$P(E1/S2) = [P(S2/E1) P(E1)] / P(S2) = [0.7*0.35] / 0.595 = 0.41$$

$$P(E2/S2) = [P(S2/E2) P(E2)] / P(S2) = [0.6*0.45] / 0.595 = 0.45$$

$$P(E3/S2) = [P(S2/E3) P(E3)] / P(S2) = [0.4*0.2] / 0.595 = 0.14$$

Resolviendo el árbol de decisiones:

$$VE(A1/S1) = (250*0.26) + (400*0.44) + (750*0.3) = 466$$

$$VE(A2/S1) = (250*0.26) + (300*0.44) + (800*0.3) = 437$$

$$VE(A3/S1) = (200*0.26) + (350*0.44) + (100*0.3) = 236$$

$$VE(A1/S2) = (275*0.41) + (425*0.45) + (775*0.14) = 491$$

$$VE(A2/S2) = (275*0.41) + (325*0.45) + (825*0.14) = 462$$

$$VE(A3/S2) = (225*0.41) + (375*0.45) + (1025*0.14) = 531$$



Escogiendo el que el menor valor por tratarse de costos, la mejor alternativa sería **A3 CAF con 236**

Para el valor de la información imperfecta:

$$V(II) = 445.5 - 236 = 209.5$$

Conclusión tema 4

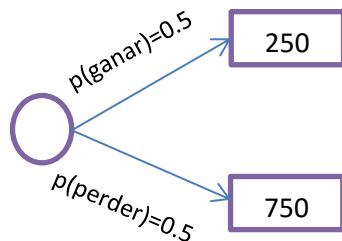
En este tema la mejor alternativa es A3(CAF), y como vemos la mejor alternativa sigue variando con el método usado, sin embargo este tema tiene en cuenta un factor muy importante y real que es la obtención de información lo que lo hace más parecido a la realidad y con una buena información, podría ser el mejor para aplicar.

5.- EL ENFOQUE DE LA UTILIDAD EN LAS DECISIONES

5.1.- Concepto de Equivalente Bajo Certeza

El equivalente bajo certeza (EBC) es la cifra por la cual una persona estaría dispuesta a no jugar una lotería, teniendo algo seguro.

Por ejemplo para nuestra alternativa A1, los costos por mantenimiento pueden ser dependiendo del estado de la naturaleza, 250, 400 y 750, si tomamos el menor y el mayor valor, y suponemos que la probabilidad de ocurrencia es la misma, es decir 0.5, se forma la siguiente lotería.



En esta lotería la probabilidad de perder y ganar es la misma; si se le pregunta al decisor por qué cantidad estaría dispuesto a no jugar la lotería esta cifra será el EBC, por ejemplo 400, un costo mayor a estos 400 no lo aceptaría el decisor, mientras que sí aceptaría un costo menor a los 400.

Si calculamos el VME para esta lotería:

$$\text{VME} = (250 \cdot 0.5) + (750 \cdot 0.5) = 500$$

Al comparar estas dos cifras el EBC es menor que el VME, indicándonos que el decisor no es partidario del VME, y que busca que su costo sea menor del promedio.

El concepto de EBC, ofrece un nuevo parámetro a tomar en cuenta para escoger la mejor alternativa, el cual toma en cuenta la actitud del decisor, y no sólo se basa en las probabilidades, más adelante este concepto será de gran importancia para el desarrollo de otro tema.

5.2.- El Concepto de Lotería.

La lotería es un concepto utilizado para significar una situación de riesgo, en la cual se tiene una probabilidad P_i de obtener un premio x_i .

El conjunto de los premios se representa como: $X = \{x_1, \dots, x_n\}$,

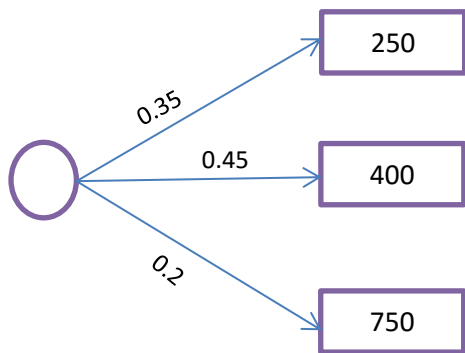
Mientras que la lotería se representa de la siguiente forma:

$$L = \{(P_1, x_1), \dots, (P_n, x_n)\}$$

Continuando con el ejemplo tomado en el tema de EBC, para la alternativa A1 de nuestro problema, se forma la siguiente lotería:

Conjunto de premios A1 = {250, 400, 750}

Lotería = {(0.35,250), (0.45,400), (0.2,750)}



En nuestro caso los premios representan costos, por lo que el mejor premio es aquel que nos represente el costo más bajo.

Los premios guardan entre sí una relación de preferencia, por ejemplo si:

$x_1 = 250$, $x_2 = 400$, $x_3 = 750$, entonces

$x_1 > x_2$, lo que significa que 250 es preferible a 400.

$x_2 < x_1$, de esta forma se dice que 750 es menos preferible que 250

Por principio de transitividad, aplicable en los premios, se puede decir también que si $x_1 > x_3$ por lo tanto $x_1 > x_3$, es decir, 250 también es preferible que 750.

El precio de venta de una lotería es lo mismo que el EBC, visto anteriormente. Por otro lado el precio de compra de una lotería es la máxima cantidad que una persona pagaría por participar en la lotería, y dicho precio no tiene que ser igual a su precio de venta o EBC.



5.3.- Construcción de Curvas de Utilidad.

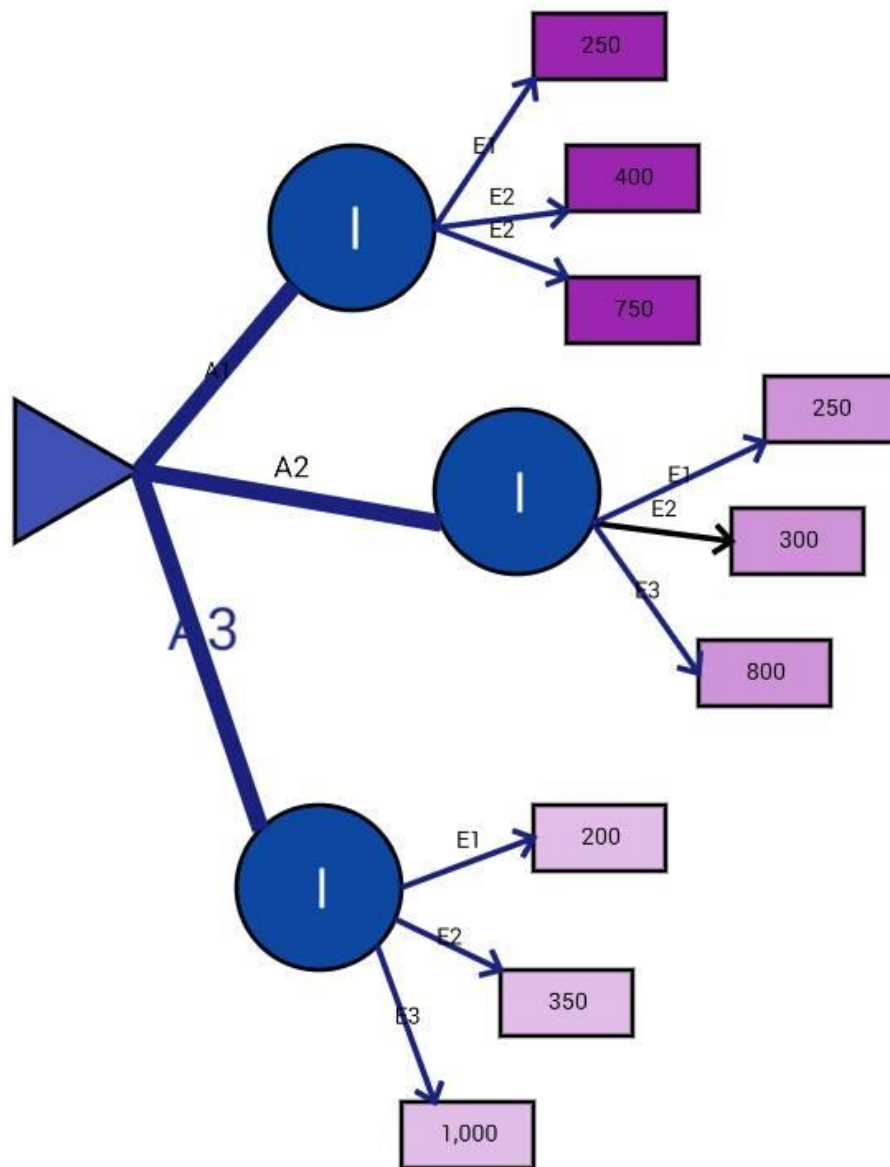
En este tema es donde aplicaremos formalmente en nuestro problema de decisión, los conceptos de EBC y lotería vistos anteriormente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A1: Seleccionar Bombardier

A2: Seleccionar Alstom

A3: Seleccionar CAF



A

Aplicando el método de “**cuestionando probabilidades**” para obtener la curva de utilidad se tiene:

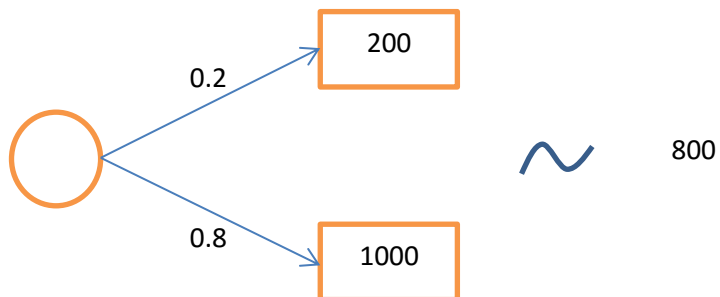
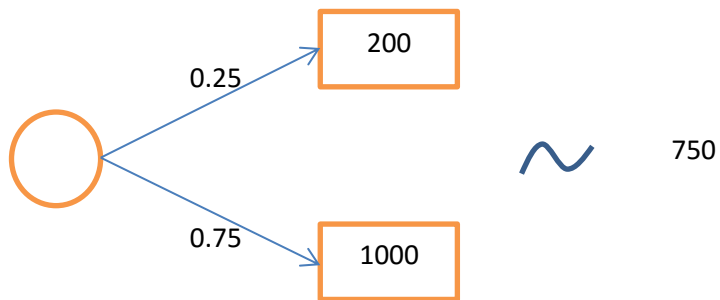
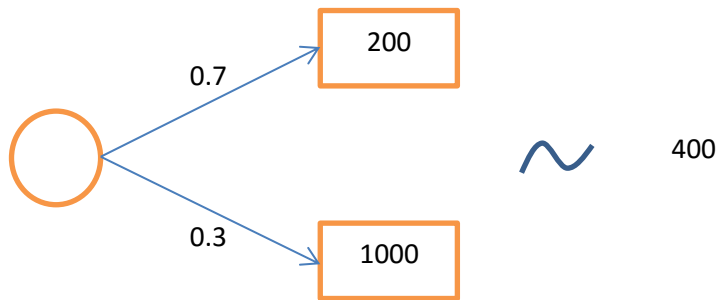
El conjunto de resultados posibles en orden de preferencia es:

$$X_i = \{200, 250, 300, 350, 400, 750, 800, 1000\}$$

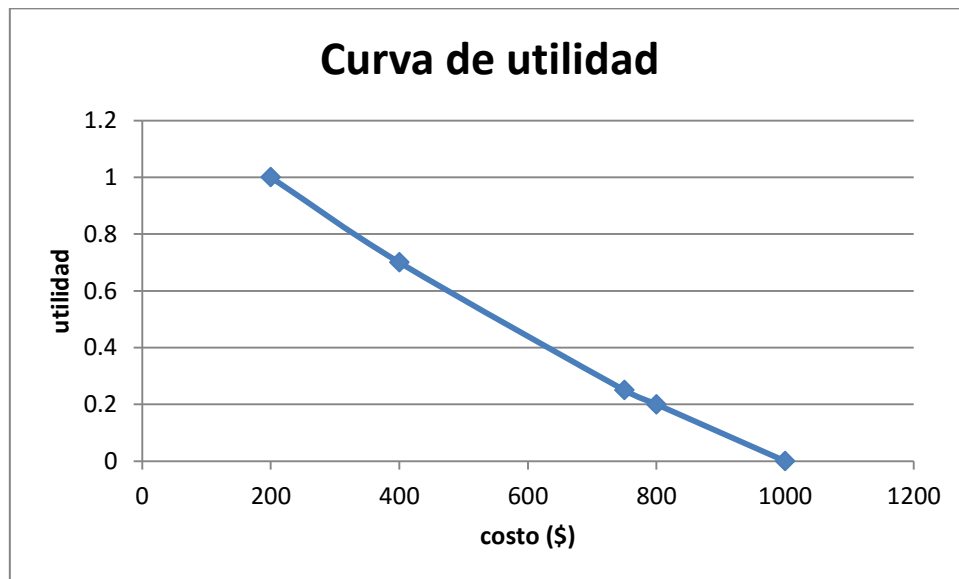
El mejor resultado es $X^* = 200$, el peor resultado es $X^0 = 1000$ (teniendo en cuenta que son costos). Por lo tanto:

$$u(200) = 1.0 \quad u(1000) = 0.0$$

Escogiendo otros 3 valores: 400, 750 y 800.



Graficando los valores obtenidos:



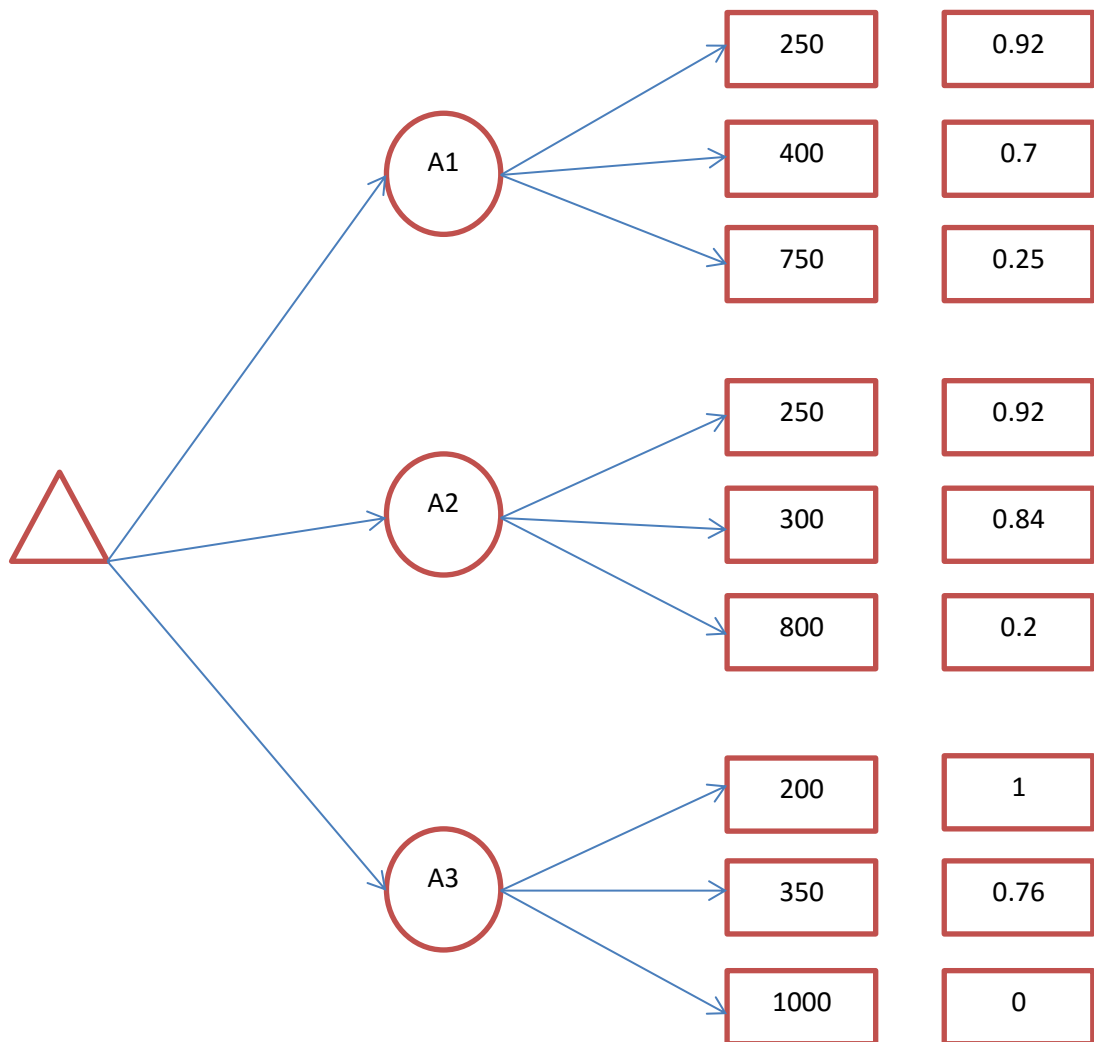
Para los valores restantes mediante la gráfica:

$$u(250) = 0.92$$

$$u(300) = 0.84$$

$$u(350) = 0.76$$

El árbol de decisiones con utilidad quedaría de la siguiente forma:



Resolviendo el árbol:

$$VUE(A1) = (0.92 \cdot 0.35) + (0.7 \cdot 0.45) + (0.25 \cdot 0.2) = 0.687$$

$$VUE(A2) = (0.92 \cdot 0.35) + (0.84 \cdot 0.45) + (0.2 \cdot 0.2) = \mathbf{0.74}$$

$$VUE(A3) = (1 \cdot 0.35) + (0.76 \cdot 0.45) + (1000 \cdot 0) = 0.692$$

La mejor alternativa es la que ofrece la mayor utilidad, por lo que sería **A2 Alstom**.

5.4.- Análisis de las Actitudes del Decisor.

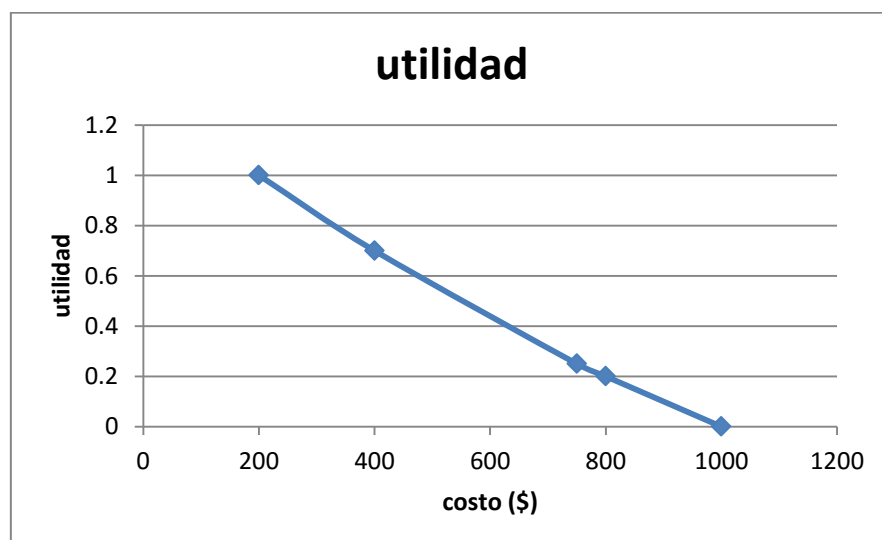
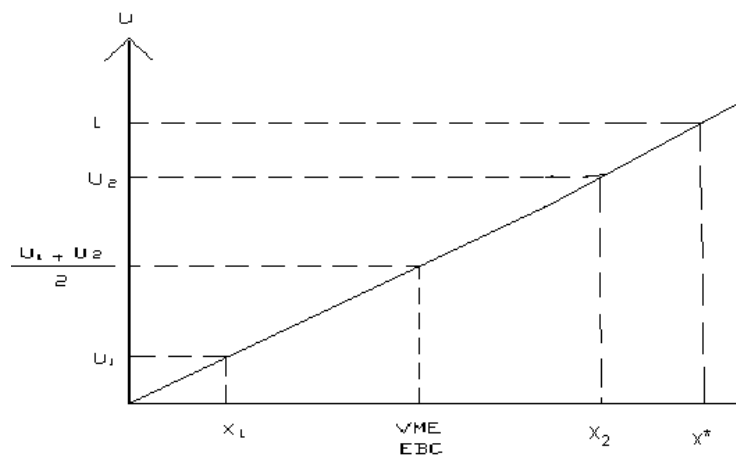
El análisis de la curva de utilidad permite identificar la actitud hacia el riesgo que tiene el decisor, siendo posible detectar la aversión, la indiferencia y la propensión.

Prima de Riesgo.

Este concepto es de utilidad para calificar la actitud hacia el riesgo y se define como la diferencia entre el valor monetario esperado y el equivalente bajo certeza.

$$PR = VME - EBC$$

Si la prima de riesgo es igual a cero, significa que el decisor se rige por el criterio del valor monetario esperado y no toma en cuenta al riesgo; la curva de utilidades en este caso es una recta, existiendo una relación lineal entre el atributo y su utilidad:



Como se puede observar en la gráfica obtenida anteriormente, la curva de utilidad obtenida es prácticamente una recta por lo que en nuestro caso el decisor no se rige por el criterio del riesgo, sino por el valor monetario esperado, demostrando una actitud de indiferencia y resultando así que la prima de riesgo sea igual a cero.

Conclusión tema 5

En este tema se introduce un elemento muy importante denominado EBC, dicho valor no es resultado de un proceso matemático, sino de algo personal del decisor, de su actitud hacia el riesgo y su personalidad. Este concepto es de vital importancia porque a pesar de los resultados matemáticos, la personalidad del decisor es la que tomará la decisión al final, juzgando los resultados según su experiencia y conocimiento. En nuestro caso la mejor alternativa fue A2(Alstom) bajo estas condiciones.

6.- MULTIOBJETIVOS

Los objetivos que se tendrán en cuenta para nuestro problema serán los siguientes:

Objetivo 1: Reducir costos en mantenimiento.

Objetivo 2: Reducir el consumo de energía eléctrica de los trenes.

Objetivo 3: Mayor capacidad de pasajeros.

La matriz de decisiones para el consumo de energía eléctrica es:

	E1, P(E1)=0.35	E2, P(E2)=0.45	E3, P(E3)=0.20
A1 Bombardier	100	110	110
A2 Alstom	80	100	120
A3 CAF	90	100	110

Las unidades de los valores son kW por viaje por persona.

Para la capacidad por tren de pasajeros:

	E1, P(E1)=0.35	E2, P(E2)=0.45	E3, P(E3)=0.20
A1 Bombardier	600	500	400
A2 Alstom	550	500	450
A3 CAF	600	400	400

En ambas matrices se comprobó que no existiera dominancia.

6.1.- Independencia entre los objetivos

Para que se cumpla el principio de **separabilidad**, es necesario verificar la independencia preferencial mutua, si esto es cierto entonces hay separabilidad.

Sean los atributos de la siguiente forma:

X1= Costos por mantenimiento

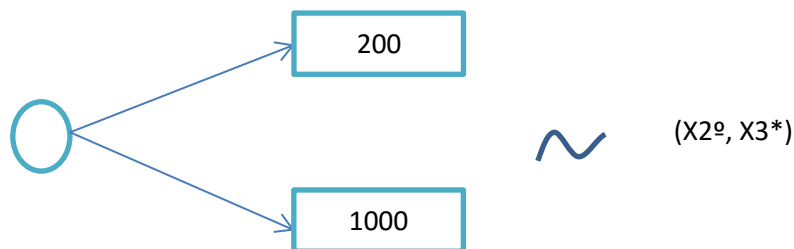
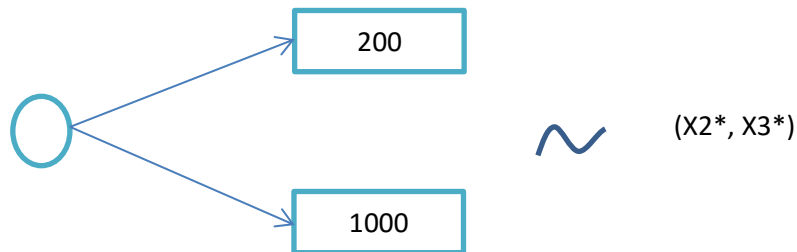
X2= Consumo de energía

X3= Capacidad de pasajeros

Probando la independencia de X1.

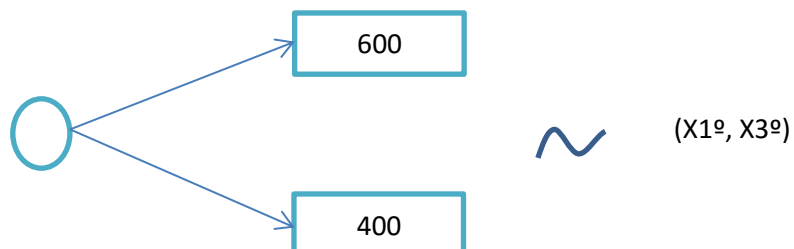
Si $X1^*=200$ y $X1^o=1000$, $X2^*=80$ y $X^o=110$, $X3^*=600$ y $X3^o=400$

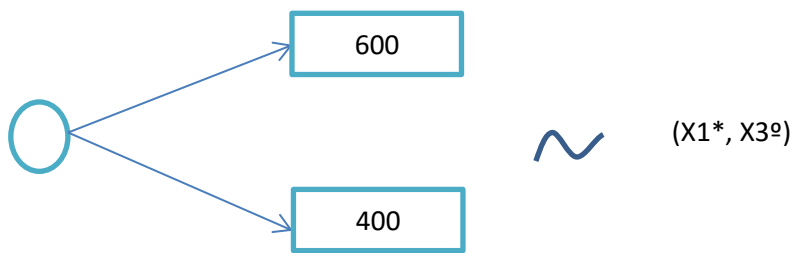
Se sabe que es preferible que el costo por mantenimiento sea de 200 a 1000.



Esto quiere decir que si el consumo de energía es de 80 kW y la capacidad de los trenes es de 600 pasajeros y ambos son fijos, se prefiere que el costo del mantenimiento sea de 200 en lugar de 1000; y si el consumo de energía cambia a 110 aún se sigue prefiriendo el mantenimiento de 200, lo que comprueba que hay independencia de $X1$ con $X2$ y $X3$.

Ahora para el atributo $X3$, es preferible una capacidad de 600 pasajeros a 400.





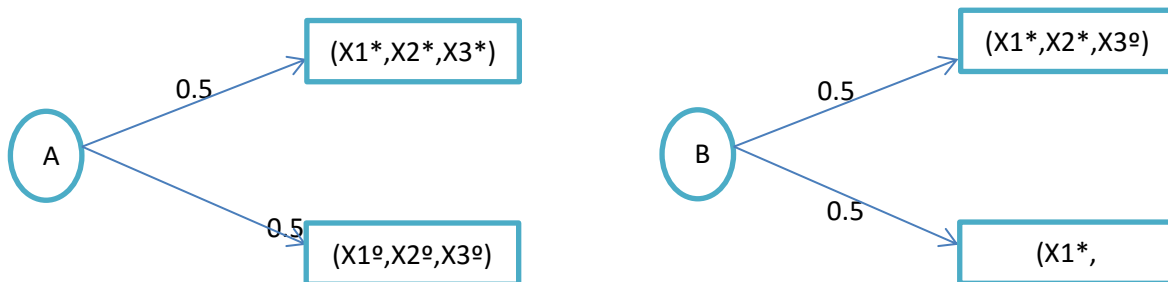
Si el mantenimiento es de 1000 y el consumo de energía es de 110, se prefiere tener 600 pasajeros; y si el mantenimiento disminuye a 200, aun se sigue prefiriendo el mismo número de pasajeros. Entonces X_3 es independiente de X_1 y X_2 .

Con base en lo anterior se demuestra que hay independencia preferencial mutua y por lo tanto hay separabilidad.

6.2.- Funciones de Utilidad Multilineales

En el caso de nuestro proyecto se ha obligado a que la función sea del tipo multiplicativa.

Se tienen las siguientes loterías:



Donde $X1^*=200$ y $X1^\circ=1000$, $X2^*=80$ y $X^\circ=110$, $X3^*=600$ y $X3^\circ=400$

Si nuestra función de utilidad fuera aditiva se cumpliría que las loterías A y B serían igualmente preferibles, sin embargo para nosotros no es así porque la lotería B es mejor que la A, al ofrecernos que el costo por mantenimiento en ambos premios sea el mínimo, y al ser el atributo más importante entonces es preferible la lotería B.

Entonces como no se cumple que ambas loterías sean preferibles la función es del tipo multiplicativa.

6.3.- Cálculo de las constantes k_i y K

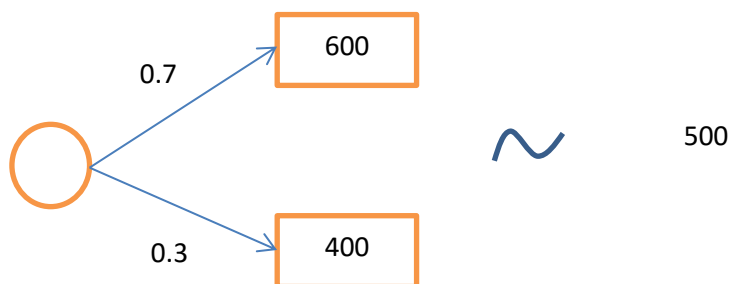
Para calcular las curvas de utilidad de los objetivos 2 y 3, se aplica el mismo método usado en el tema anterior.

El conjunto de resultados posibles en orden de preferencia para el número de pasajeros es:

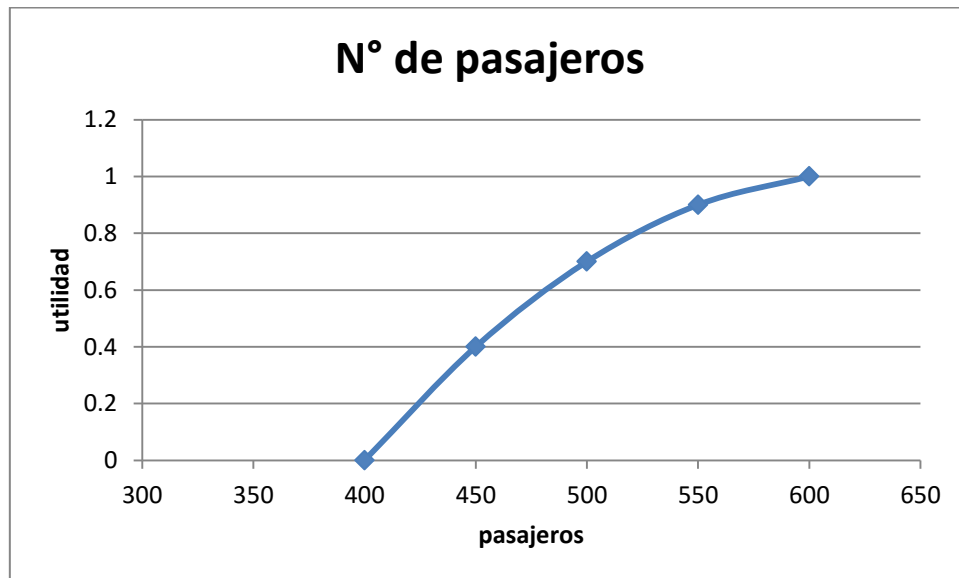
$$X_i = \{600, 550, 500, 450, 400\}$$

El mejor resultado es $X^* = 600$, el peor resultado es $X^0 = 400$.

Cuestionando probabilidades:



La curva de utilidad queda:



Calculando el VUE, para cada alternativa según este objetivo

$$VUE(A1) = (1 \cdot 0.35) + (0.7 \cdot 0.45) + (0 \cdot 0.2) = 0.665$$

$$VUE(A2) = (0.9 \cdot 0.35) + (0 \cdot 0.45) + (0.2 \cdot 0.2) = 0.71$$

$$VUE(A3) = (1 \cdot 0.35) + (0 \cdot 0.45) + (0 \cdot 0) = 0.35$$

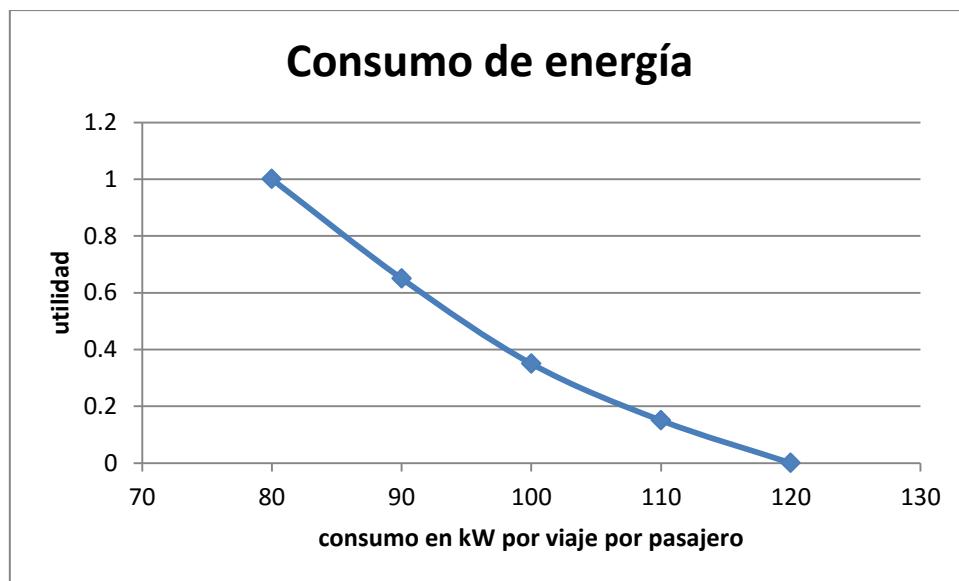
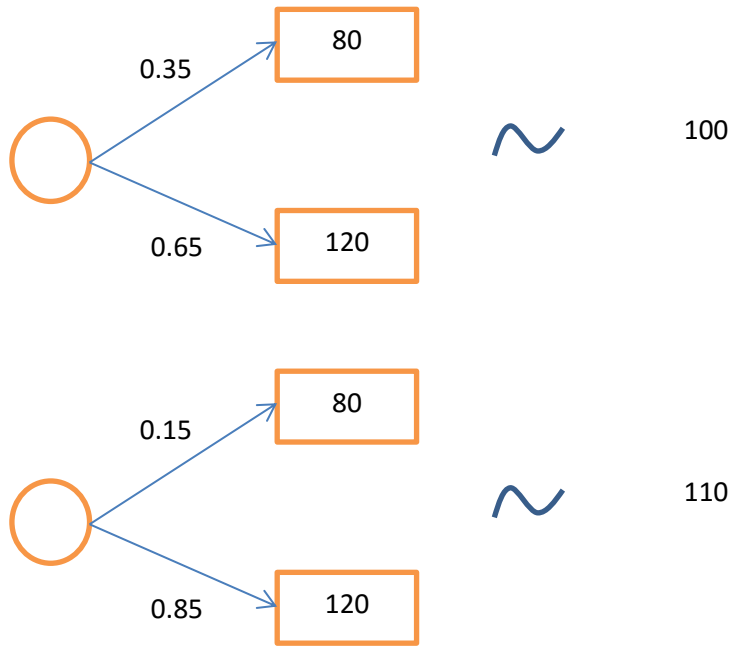
El conjunto de resultados posibles en orden de preferencia para el número de pasajeros es:

$$X_i = \{80, 90, 100, 110, 120\}$$

El mejor resultado es $X^* = 80$, el peor resultado es $X^0 = 120$.

Cuestionando probabilidades:





Calculando el VUE:

$$\text{VUE}(A1) = (0.35 \cdot 0.35) + (0.15 \cdot 0.45) + (0.15 \cdot 0.2) = 0.22$$

$$\text{VUE}(A2) = (1 \cdot 0.35) + (0.35 \cdot 0.45) + (0 \cdot 0.2) = 0.5075$$

$$\text{VUE}(A3) = (0.65 \cdot 0.35) + (0.35 \cdot 0.45) + (0.15 \cdot 0) = 0.415$$

Para obtener las constantes  K:

$$pu(200,600,80) + (1-p) u(1000,400,120) = u(200,400,120)$$

Si $u(200,600,80) = 1$ y $u(1000,400,120)=0$, entonces:

$$p = k_1 u(200)$$

$$p = k_1 = 0.3$$

$$pu(200,600,80) + (1-p) u(1000,400,120) = u(1000,600,120)$$

$$p = k_2 u(600)$$

$$p = k_2 = 0.5$$

$$pu(200,600,80) + (1-p) u(1000,400,120) = u(1000,400,80)$$

$$p = k_3 u(200)$$

$$p = k_3 = 0.2$$

Ahora para calcular K, evaluando con los mejores valores la función multiplicativa:

$$u(x_1, x_2, x_3) = \prod_{i=1}^3 \frac{[1 + Kk_i u(x_i)] - 1}{K}$$

$$1 + Ku(200,600,80) = [1 + K0.3u(200)] * [1 + K0.5u(600)] * [1 + K0.2u(80)]$$

$$1 + K = [1 + 0.5K] * [1 + 0.5K] * [1 + 0.5K]$$

Resolviendo la ecuación, el valor de K es, $K=0.00036$

La siguiente tabla resume las utilidades correspondientes a las alternativas:

Alternativa	X1 mantenimiento	X2 pasajeros	X3 energía
Bombardier	0.687	0.665	0.22
Alstom	0.72	0.71	0.5075
CAF	0.692	0.35	0.415

Alternativa 1, Bombardier:



$$u(x_1, x_2, x_3) = \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.687)] - 1}{0.00036} * \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.665)] - 1}{0.00036} * \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.22)] - 1}{0.00036}$$

$$u(x_1, x_2, x_3) = 0.896$$

Alternativa 2, Alstom:

$$u(x_1, x_2, x_3) = \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.72)] - 1}{0.00036} * \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.71)] - 1}{0.00036} \\ * \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.5075)] - 1}{0.00036}$$

$$u(x_1, x_2, x_3) = 0.96875$$

Alternativa 3, CAF:

$$u(x_1, x_2, x_3) = \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.692)] - 1}{0.00036} * \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.35)] - 1}{0.00036} \\ * \frac{[1 + (0.00036)(0.5)(0.415)] - 1}{0.00036}$$

$$u(x_1, x_2, x_3) = 0.7285$$

Por lo tanto la mejor alternativa es **A2 Alstom**.

Conclusión tema 6

Este tema es el más complejo debido a que se introducen más objetivos lo que hace que nuestro problema se vuelva más complejo. Sin embargo es lo que pasa en la realidad porque una decisión no depende de un solo factor sino que se ve afectado por muchos. Al final del análisis el resultado para nuestro problema fue que la mejor alternativa es A2(Alstom), alternativa que se viene destacando en otros temas también.

CONCLUSIÓN FINAL

Según los métodos aplicados en los diferentes temas, la alternativa más escogida por dichos métodos fue la A2 por lo que para nuestro problema a resolver que es: **escoger la compañía que produzca los trenes para la línea del tren ligero de Guadalajara la solución es contratar a Alstom.**

Referencias

<http://www.l3gdl.gob.mx/>

<http://zonaguadalajara.com/linea-3-del-tren-ligero-en-guadalajara/>

<http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/transporte-ferroviario-y-multimodal/linea-3-del-tren-ligero-de-guadalajara/>

<http://www.ingenieria.unam.mx/javica1/ingsistemas2/>