



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
SEM. 2016-2**

INGENIERIA DE SISTEMAS

**PROYECTO: TUNEL EMISOR ORIENTE
(TEO)**

**NOMBRE DEL LOS ALUMNOS:
FLORES FERNÁNDEZ RAMÓN
RINCÓN BELTRÁN JOSUÉ AARÓN**

Grupo: 04

**PROFESOR: DR. JUAN ANTONIO DEL VALLE
FLORES**

FECHA DE ENTREGA: 26/05/ 2016

INTRODUCCIÓN

El Valle de México resulta vulnerable pues su ubicación geográfica lo hace un gran receptáculo de agua. El problema no es reciente: desde hace varias décadas afecta a sus habitantes y no fue sino hasta la actual Administración del Presidente Felipe Calderón, que se decidió realizar la inversión necesaria para dar una solución de fondo.

El Túnel Emisor Oriente (mejor conocido como el TEO) permitirá prevenir inundaciones al conducir agua residual y de lluvia en una cantidad promedio de 150 metros cúbicos por segundo, incrementando la capacidad del sistema de drenaje del Valle de México.

El TEO es un proyecto de gran magnitud por la inversión que representa, las dimensiones que implica y porque está orientado a resolver una problemática que afecta a millones de personas en el Valle de México. Por todo ello, los ingenieros mexicanos se han valido de la más alta tecnología para su diseño y construcción.

El TEO forma parte del ambicioso Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México que —junto con otras mega obras como la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco, el Túnel del Río de la Compañía y la Planta de Bombeo La Caldera— permitirá mejorar las condiciones de vida de los más de 20 millones de habitantes de la Ciudad de México y su zona conurbada.

Proyecto

El TEO estará compuesto por 24 lumbreras, con profundidades que van desde 26 hasta 150 metros, el equivalente a un edificio de 50 pisos, y un túnel (dividido en seis tramos) cuya longitud de 62 kilómetros conducirá en promedio 150 m³/s de agua.

Los tipos de suelo más comunes que se pueden en este proyecto son los siguientes:

Suelo firme.- en un suelo firme el túnel puede excavarse sin soporte inicial y el revestimiento definitivo puede construirse antes de que el suelo empiece a moverse, se presenta arriba del nivel freático cuando los suelos son de arcillas duras, margas, arenas y gravas cementadas que no estén sobre esforzadas.

Suelo graneo.- en un suelo tipo graneo se empiezan a desprender del techo y paredes, rozos o laminillas de material, cierto tiempo después de que el material quedo expuesto, debido al aflojamiento o al sobre esfuerzo y a la fractura frágil, el suelo se separa o se rompe a lo largo de distintas superficies. se presenta en suelos residuales o arenas con pequeñas cantidades de cementante, arriba del nivel freático son de graneo lento y bajo el nivel freático son de graneo rápido.

Suelo extrusivo.- en un suelo tipo extrusivo el terreno fluye plásticamente hacia el interior del túnel, sin ninguna fractura o pérdida de continuidad y sin ningún aumento perceptible del contenido de agua, dúctil fluye debido al sobre esfuerzo, se presenta en suelos sin resistencia friccionante, el grado de extrusión depende del grado de sobre esfuerzo,

ocurre en arcillas muy blandas a poca y mediana profundidad, a gran profundidad las arcillas son duras y firmes.

Ubicación

La obra inicia en la segunda lumbrera del túnel interceptor del Río de los Remedios y termina en Atotonilco de Tula, en Hidalgo, cerca del actual portal de salida del Túnel Emisor Central, en su confluencia con el Río El Salto.



Simbología

Mancha Urbana

- Distrito Federal
- Estado de México

Mancha Urbana

- Drenaje superficial
- Drenaje profundo
- TEO
- Interceptores
- Rios de aguas negras

- Plantas de bombeo construidas para vencer la pendiente negativa producto del hundimiento

- Lumbreras

TEMA 1. INTRODUCCION A LA TEORIA DE DECISIONES

1.1 Elementos de un problema

El decisor: Coordinación General de Proyectos Especiales de Abastecimiento y Saneamiento de la Comisión Nacional Del Agua (CONAGUA)

Analista: Grupo multidisciplinario de ingenieros de la CONAGUA

Alternativas:

A1: Construir la totalidad del túnel de concreto.

A2: Construir la totalidad del túnel de fibrocemento.

A3: Construir la totalidad del túnel de Polietileno reticulado (PEX)

Resultados:

Resultado A1: Trabajar con un túnel de concreto representa las siguientes ventajas: Bajo costo de mantenimiento, el equipo también se puede utilizar para bombear.

Resultado A2: Trabajar con fibrocemento tiene las siguientes ventajas: su mantenimiento es muy sencillo, pues el material no es propenso a la deformación, la decoloración o el pandeo con el paso del tiempo.

Resultado A3: Trabajar con Polietileno reticulado tiene las siguientes ventajas: puede ser doblado fácilmente para encajar en rincones y hacer otros cambios de dirección, además resiste un amplio rango de temperaturas.

Estados de la naturaleza:

E1: que se presente un tipo de suelo firme (arcillas duras, margas, arenas y gravas)

E2: Que se presente un tipo de suelo graneado (arenas con pequeñas cantidades de cementante)

E3: Que se presente un tipo de suelo extrusivo (arcillas muy blandas)

Grado de incertidumbre:

Tomando en cuenta los tipos de suelo encontrados en la construcción del Túnel Emisor Central y el Túnel Emisor Poniente se tienen las siguientes probabilidades:

E1 tiene una probabilidad de 15%

E2 tiene una probabilidad de 55%

E3 tiene una probabilidad de 30%

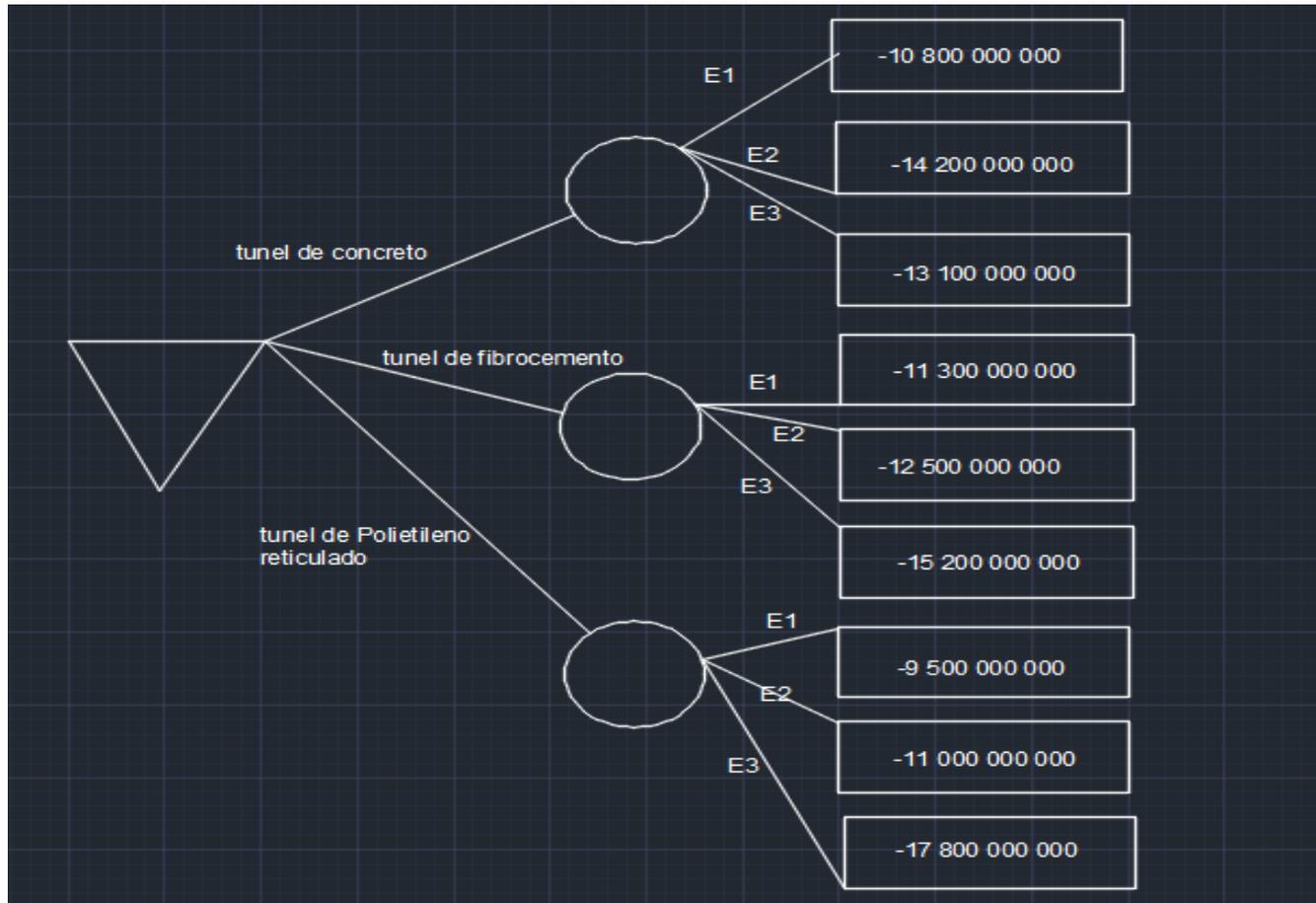
1.2 Modelos del problema

Modelo matricial

Los resultados son el costo del proyecto

	E1: Tipo de suelo firme	E2: Tipo de suelo graneo	E3: Tipo de suelo extrusivo
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

Modelo gráfico. Árbol de decisiones



En resumen, se plantearon tres posibles alternativas en cuanto a los materiales para la elaboración del túnel, la CONAGUA será la encargada de tomar la decisión de que material elegir. Las alternativas y los estados de la naturaleza se representaron en un modelo matricial y gráfico.



TEMA 2. DECISIONES BAJO CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE

2.1 Principios Maximin y Minimax

Solución:

Se trabajara con **Minimax** porque se trata de perdidas, se escogen los valores más desfavorables de cada alternativa y de esos tres valores se escoge el menos desfavorable.

	E1: Tipo de suelo firme	E2: Tipo de suelo graneo	E3: Tipo de suelo extrusivo
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

Se utiliza el **Minimax** y se escogería la alternativa 1 (A1)

2.2 Principios Maximax y Minimin

Solución:

Se trabajara con **Minimin** porque se trata de perdidas, aquí se escogen los valores más favorables de cada alternativa y de esos valores se escoge el mas favorable.

	E1: Tipo de suelo firme	E2: Tipo de suelo graneo	E3: Tipo de suelo extrusivo
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

Se utiliza el **Minimin** y se escogería la alternativa 3 (A3)

2.3 Principio de Hurwics

Se eligen los mejores y peores valores para cada alternativa, (rojo y azul, respectivamente)

	E1: Tipo de suelo firme	E2: Tipo de suelo graneo	E3: Tipo de suelo extrusivo
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

Proponemos $\beta = 70$, entonces:

$$V(A1) = 0.70 (-10\,800\,000\,000) + 0.30(-14\,200\,000\,000) = -7\,560\,000\,000 - 4\,260\,000\,000 = \mathbf{-11\,820\,000\,000}$$

$$V(A2) = 0.70(-11\,300\,000\,000) + 0.30(-15\,200\,000\,000) = -7\,910\,000\,000 - 4\,560\,000\,000 = \mathbf{-12\,470\,000\,000}$$

$$V(A3) = 0.70(-9\,500\,000\,000) + 0.30(-17\,800\,000\,000) = -6\,650\,000\,000 - 5\,340\,000\,000 = \mathbf{-11\,990\,000\,000}$$

Por lo tanto se escoge la alternativa 1

2.4 Criterio de Laplace

Se le asigna una probabilidad igual a cada estado de la naturaleza.

$$VE(A1) = 0.33 (-10\,800\,000\,000) + 0.33(-14\,200\,000\,000) + 0.33(-13\,100\,000\,000) = -3\,564\,000\,000 - 4\,686\,000\,000 - 4\,323\,000\,000 = \mathbf{-12\,573\,000\,000}$$

$$VE(A2) = 0.33(-11\,300\,000\,000) + 0.33(-12\,500\,000\,000) + 0.33(-15\,200\,000\,000) = -3\,279\,000\,000 - 4\,125\,000\,000 - 5\,016\,000\,000 = \mathbf{-12\,420\,000\,000}$$

$$VE(A3) = 0.33(-9\,500\,000\,000) + 0.33(-11\,000\,000\,000) + 0.33(-17\,800\,000\,000) = -3\,135\,000\,000 - 3\,630\,000\,000 - 5\,874\,000\,000 = \mathbf{-12\,639\,000\,000}$$

Por lo tanto se escoge la alternativa 2

2.5 Criterio de Arrepentimiento de Savage

Eligiendo los mejores valores de cada estado de la naturaleza:

	E1: Tipo de suelo firme	E2: Tipo de suelo graneo	E3: Tipo de suelo extrusivo
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

Estos mejores valores serán disminuidos por cada valor del elemento:

	E1: Tipo de suelo firme	E2: Tipo de suelo graneo	E3: Tipo de suelo extrusivo
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000 + 9 500 000 000	-14 200 000 000 + 11 000 000 000	-13 100 000 000 + 13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000 + 9 500 000 000	-12 500 000 000 + 11 000 000 000	-15 200 000 000 + 13 100 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000 + 9 500 000 000	-11 000 000 000 + 11 000 000 000	-17 800 000 000 + 13 100 000 000

Finalmente la matriz de arrepentimiento sería la siguiente:

	E1: Tipo de suelo firme	E2: Tipo de suelo graneo	E3: Tipo de suelo extrusivo
A1: Túnel de concreto	1 300 000 000	3 200 000 000	0
A2: Túnel de fibrocemento	1 800 000 000	1 500 000 000	2 100 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	0	0	4 700 000 000

El vector de arrepentimientos máximos es $[3\ 200\ 000\ 000, 2\ 100\ 000\ 000, 4\ 700\ 000\ 000]^T$, siendo el mejor valor la alternativa 2

En resumen, se usaron varios criterios para elegir la mejor alternativa donde no se conocen las probabilidades de ocurrencia de los estados naturales o se les asigna según el decisor.

TEMA 3. DECISIONES BAJO CONDICIONES DE RIESGO

3.1 Maximización o minimización del valor esperado y varianza

Solución:

Se obtendrá el valor esperado de cada alternativa.

$$E(X) = \sum x_i P(x_i)$$

	E1: Tipo de suelo firme = 0.15	E2: Tipo de suelo graneo = 0.55	E3: Tipo de suelo extrusivo = 0.30
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

$$E(A1) = (-10\,800\,000\,000)(0.15) + (-14\,200\,000\,000)(0.55) + (-13\,100\,000\,000)(0.30) = -1\,620\,000\,000 - 7\,810\,000\,000 - 3\,930\,000\,000 = -13\,360\,000\,000$$

$$E(A2) = (-11\,300\,000\,000)(0.15) + (-12\,500\,000\,000)(0.55) + (-15\,200\,000\,000)(0.30) = -1\,695\,000\,000 - 6\,875\,000\,000 - 4\,560\,000\,000 = -13\,130\,000\,000$$

$$E(A3) = (-9\,500\,000\,000)(0.15) + (-11\,000\,000\,000)(0.55) + (-17\,800\,000\,000)(0.30) = -1\,425\,000\,000 - 6\,050\,000\,000 - 5\,340\,000\,000 = -12\,815\,000\,000$$

Teniendo la alternativa A3 un valor esperado mayor, sería la alternativa a seleccionar.

Si se hubiera tenido un empate entre los valores esperados, la **varianza mínima** deberá ser un criterio de decisión.

$$V(x) = E [X - E(x)]^2$$

$$V(x) = E (x^2) - E(x)^2]$$

$$E(A1) = (-10\ 800\ 000\ 000)(0.15) + (-14\ 200\ 000\ 000)(0.55) \\ + (-13\ 100\ 000\ 000)(0.30) = -13\ 360\ 000\ 000$$

$$E(A1^2) = (-10\ 800\ 000\ 000)^2(0.15) + (-14\ 200\ 000\ 000)^2(0.55) \\ + (-13\ 100\ 000\ 000)^2(0.30) = 179\ 881\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$$

$$V(x) = 179\ 881\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 - (-13\ 360\ 000\ 000)^2] \\ = \mathbf{1\ 391\ 400\ 000\ 000\ 000\ 000}$$

$$E(A2) = (-11\ 300\ 000\ 000)(0.15) + (-12\ 500\ 000\ 000)(0.55) \\ + (-15\ 200\ 000\ 000)(0.30) = -13\ 130\ 000\ 000$$

$$E(A2^2) = (-11\ 300\ 000\ 000)^2(0.15) + (-12\ 500\ 000\ 000)^2(0.55) \\ + (-15\ 200\ 000\ 000)^2(0.30) = 174\ 403\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$$

$$V(x) = 174\ 403\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 - (-13\ 130\ 000\ 000)^2] \\ = 2\ 006\ 100\ 000\ 000\ 000\ 000$$

$$E(A3) = (-9\ 500\ 000\ 000)(0.15) + (-11\ 000\ 000\ 000)(0.55) + (-17\ 800\ 000\ 000)(0.30) \\ = -12\ 815\ 000\ 000$$

$$E(A3^2) = (-9\ 500\ 000\ 000)^2(0.15) + (-11\ 000\ 000\ 000)^2(0.55) \\ + (-17\ 800\ 000\ 000)^2(0.30) = 175\ 139\ 500\ 000\ 000\ 000\ 000$$

$$V(x) = 175\ 139\ 500\ 000\ 000\ 000\ 000 - (-12\ 815\ 000\ 000)^2] \\ = 10\ 915\ 275\ 000\ 000\ 000\ 000$$

En caso de que hubiera existido empate se usaría la varianza y se escogería la menor, en este caso sería la alternativa 1.

3.2 Principio del más probable futuro

Solución:

Se escoge la probabilidad más alta de los estados de la naturaleza y se trabaja con ella, descartando las otras dos.

	E2: Tipo de suelo graneo = 0.55
A1: Túnel de concreto	-14 200 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-12 500 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-11 000 000 000

$$E(A1) = (-14\,200\,000\,000)(0.55) = -7\,810\,000\,000$$

$$E(A2) = (-12\,500\,000\,000)(0.55) = -6\,875\,000\,000$$

$$E(A3) = (-11\,000\,000\,000)(0.55) = -6\,050\,000\,000$$

Teniendo la alternativa A3 un valor esperado mayor, sería la alternativa a seleccionar.

3.3 Principio del nivel esperado.



Solución:

Se fija un valor que maximice la probabilidad de alcanzar las metas que se plantearon.

Para A1

	E1: Tipo de suelo firme = 0.15	E2: Tipo de suelo graneo = 0.55	E3: Tipo de suelo extrusivo = 0.30
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

$$P(\text{utilidad} \leq -12\,000\,000\,000) = P(E1) = 0.15$$

Para A2

	E1: Tipo de suelo firme = 0.15	E2: Tipo de suelo graneo = 0.55	E3: Tipo de suelo extrusivo = 0.30
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

$$P(\text{utilidad} \leq -12\,000\,000\,000) = P(E1) = \mathbf{0.15}$$

Para A3

	E1: Tipo de suelo firme = 0.15	E2: Tipo de suelo graneo = 0.55	E3: Tipo de suelo extrusivo = 0.30
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

$$P(\text{utilidad} \geq -12\,000\,000\,000) = P(E1) + P(E2) = 0.15 + 0.55 = \mathbf{0.70}$$

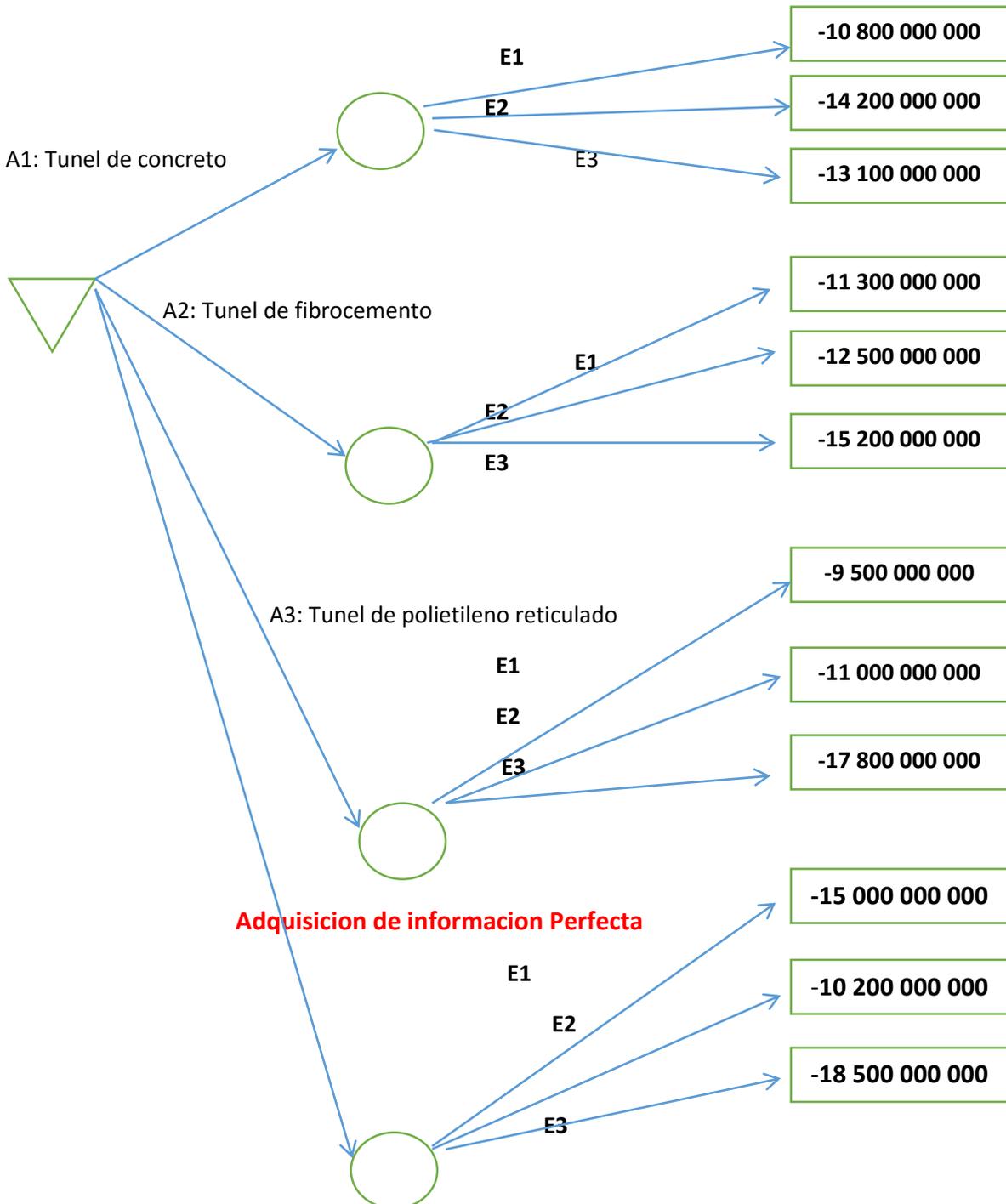
De acuerdo a este principio se elige la alternativa A3

En resumen, se utilizaron distintos criterios bajo condiciones de riesgo y los tres criterios empelados coincidieron en que la alternativa A3 es la mejor.

TEMA 4. VALOR DE LA INFORMACIÓN EN LAS DECISIONES

4.1 Información Perfecta

Se busca la compra de información perfecta con un brujó de la zona para que nos proporcione el costo de cada tubería conservando las mismas probabilidades en los estados de la naturaleza.



$$VE(A1=TUNEL DE CONCRETO) = (-10\ 800\ 000\ 000)(0.15) + (-14\ 200\ 000\ 000)(0.55) + (-13\ 100\ 000\ 000)(0.30) = -1\ 620\ 000\ 000 - 7\ 810\ 000\ 000 - 3\ 930\ 000\ 000 =$$

-13 360 000 000

$$VE(A2=TUNEL DE FIBROCEMENTO) = (-11\ 300\ 000\ 000)(0.15) + (-12\ 500\ 000\ 000)(0.55) + (-15\ 200\ 000\ 000)(0.30) = -1\ 695\ 000\ 000 - 6\ 875\ 000\ 000 - 4\ 560\ 000\ 000 =$$

-13 130 000 000

$$VE(A3=TUNEL DE POLIETILENO RETICULADO) = (-9\ 500\ 000\ 000)(0.15) + (-11\ 000\ 000\ 000)(0.55) + (-17\ 800\ 000\ 000)(0.30) = -1\ 425\ 000\ 000 - 6\ 050\ 000\ 000 - 5\ 340\ 000\ 000 =$$

-12 815 000 000

$$VE(A4=ADQUISICION DE INFORMACION PERFECTA) = (-15\ 000\ 000\ 000)(0.15) + (-10\ 200\ 000\ 000)(0.55) + (-18\ 500\ 000\ 000)(0.30) = -2\ 250\ 000\ 000 - 5\ 610\ 000\ 000 - 5\ 550\ 000\ 000 =$$

-13 410 000 000

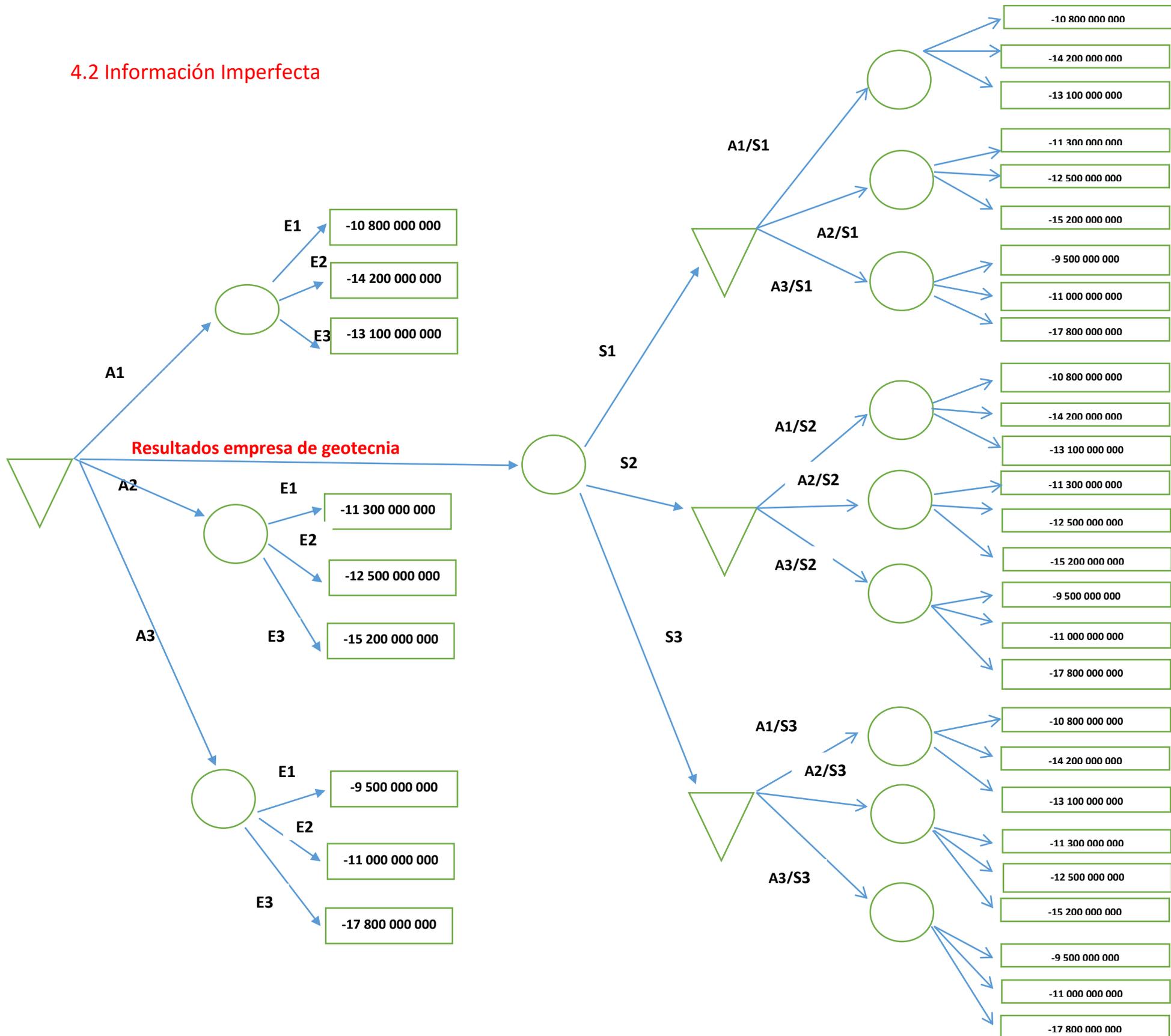
Al valor de la adquisición de información perfecta se le resta el valor más desfavorable de las tres alternativas.

$$VE(IP) = \frac{VE}{ID} - \frac{VE}{IP} = \frac{VE}{A3} - \frac{VE}{A4} = (-12\ 815\ 000\ 000) - (-13\ 410\ 000\ 000)$$

$$= (595\ 000\ 000)$$

$VE(IP) = 595\ 000\ 000$

4.2 Información Imperfecta



	E1: Tipo de suelo firme	E2: Tipo de suelo graneado	E3: Tipo de suelo extrusivo
A1: Túnel de concreto	-10 800 000 000	-14 200 000 000	-13 100 000 000
A2: Túnel de fibrocemento	-11 300 000 000	-12 500 000 000	-15 200 000 000
A3: Túnel de Polietileno reticulado	-9 500 000 000	-11 000 000 000	-17 800 000 000

Se adquiere la información imperfecta mediante una compañía de geotecnia que hace estudios de mecánica de suelos para que nos proporcione las probabilidades del tipo de suelo que se puede encontrar al llevar a cabo la obra, los resultados de esos estudios fueron los siguientes:

S1: suelo tipo corrida: Los materiales granulares sin cohesión, son inestables con una pendiente mayor a su ángulo de reposo. Cuando son expuestos a pendientes mayores, los materiales corren como si fuera azúcar o arena de duna.

S2: suelo tipo fluyente: Una mezcla viscosa de suelo y agua fluye hacia el túnel. El material puede ingresar al túnel por el frente, el piso, la clave o por las paredes del túnel. Puede fluir grandes distancias y en ocasiones invadir completamente el túnel.

S3: suelo tipo expansivo: El suelo absorbe agua, incrementa su volumen y se expande lentamente hacia el túnel.

$P(S1/E1) = 0.3$	$P(S1/E2) = 0.5$	$P(S1/E3) = 0.25$
$P(S2/E1) = 0.3$	$P(S2/E2) = 0.2$	$P(S2/E3) = 0.45$
$P(S3/E1) = 0.4$	$P(S3/E2) = 0.3$	$P(S3/E3) = 0.3$

Las probabilidades iniciales de los estados de la naturaleza son:

E1 tiene una probabilidad de 15%

E2 tiene una probabilidad de 55%

E3 tiene una probabilidad de 30%

Las probabilidades posteriores tenemos:

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

$$P(S1) = (0.3 \times 0.15)+(0.5 \times 0.55)+(0.25 \times 0.30) =\mathbf{0.39}$$

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

$$P(S2) = (0.3 \times 0.15)+(0.20 \times 0.55)+(0.45 \times 0.30) =\mathbf{0.29}$$

$$P(S3) = P(S3/E1) P(E1) + P(S3/E2) P(E2) + P(S3/E3)P(E3)$$

$$P(S3) = (0.4 \times 0.15)+(0.3 \times 0.55)+(0.30 \times 0.30) =\mathbf{0.32}$$

Cálculo de las probabilidades condicionales:

$$P(E1/S1) = [P(S1/E1) P(E1)]/ P(S1)$$

$$P(E1/S1) = [(0.3 \times 0.15)]/ (0.39)= \mathbf{0.11}$$

Y así de igual manera se calcularon las siguientes probabilidades condicionales:

$$P(E2/S1) = [P(S1/E2) P(E2)]/ P(S1)$$

$$P(E2/S1) = [(0.5 \times 0.55)]/ (0.39)= \mathbf{0.70}$$

$$P(E3/S1) = [P(S1/E3) P(E3)]/ P(S1)$$

$$P(E3/S1) = [(0.25 \times 0.30)]/ (0.39)= \mathbf{0.19}$$

$$P(E1/S2) = [P(S2/E1) P(E1)]/ P(S2)$$

$$P(E1/S2) = [(0.30 \times 0.15)]/ (0.29)= \mathbf{0.16}$$

$$P(E2/S2) = [P(S2/E2) P(E2)]/ P(S2)$$

$$P(E2/S2) = [(0.20 \times 0.55)]/ (0.29)= \mathbf{0.38}$$

$$P(E3/S2) = [P(S2/E3) P(E3)]/ P(S2)$$

$$P(E3/S2) = [(0.45 \times 0.30)]/ (0.29)= \mathbf{0.46}$$

$$P(E1/S3) = [P(S3/E1) P(E1)] / P(S3)$$

$$P(E1/S3) = [(0.40 \times 0.15)] / (0.32) = \mathbf{0.19}$$

$$P(E2/S3) = [P(S3/E2) P(E2)] / P(S3)$$

$$P(E2/S3) = [(0.30 \times 0.55)] / (0.32) = \mathbf{0.52}$$

$$P(E3/S3) = [P(S3/E3) P(E3)] / P(S3)$$

$$P(E3/S3) = [(0.30 \times 0.30)] / (0.32) = \mathbf{0.29}$$

Al resolver el árbol de decisiones tenemos que aplicar el valor esperado en los nodos más distantes y acercarse hasta el nodo raíz:

Para el nodo D2 se tiene:



$$V(D21) = 0.12(-10\,800\,000\,000) + 0.72(-14\,200\,000\,000) + 0.16(-13\,100\,000\,000) =$$

-13 616 000 000

$$V(D22) = 0.12(-11\,300\,000\,000) + 0.72(-12\,500\,000\,000) + 0.16(-15\,200\,000\,000) =$$

-12 788 000 000

$$V(D23) = 0.12(-9\,500\,000\,000) + 0.72(-11\,000\,000\,000) + 0.16(-17\,800\,000\,000) =$$

-11 908 000 000

Para el nodo D3 se tiene:

$$V(D31) = 0.06(-10\,800\,000\,000) + 0.58(-14\,200\,000\,000) + 0.36(-13\,100\,000\,000) =$$

-13 600 000 000

$$V(D32) = 0.06(-11\,300\,000\,000) + 0.58(-12\,500\,000\,000) + 0.36(-15\,200\,000\,000) =$$

-13 400 000 000

$$V(D33) = 0.06(-9\,500\,000\,000) + 0.58(-11\,000\,000\,000) + 0.36(-17\,800\,000\,000) =$$

-13 358 000 000

Para el nodo D4 se tiene:

$$V(D41) = 0.19(-10\,800\,000\,000) + 0.52(-14\,200\,000\,000) + 0.29(-13\,100\,000\,000) =$$

-13 235 000 000

$$V(D42) = 0.19(-11\,300\,000\,000) + 0.52(-12\,500\,000\,000) + 0.29(-15\,200\,000\,000) =$$

-13 055 000 000

$$V(D43) = 0.19(-9\,500\,000\,000) + 0.52(-11\,000\,000\,000) + 0.29(-17\,800\,000\,000) =$$

-12 687 000 000

Para el nodo D1 se tiene:

$$V(D1) = 0.39(-11\,908\,000\,000) + 0.29(-13\,358\,000\,000) + 0.32(-12\,687\,000\,000)$$

-12 577 780 000

Valor esperado de cada una de las alternativas

$$E(A1) = (-10\,800\,000\,000)(0.15) + (-14\,200\,000\,000)(0.55) + (-13\,100\,000\,000)(0.30) = -1\,620\,000\,000 - 7\,810\,000\,000 - 3\,930\,000\,000 =$$

-13 360 000 000

$$E(A2) = (-11\,300\,000\,000)(0.15) + (-12\,500\,000\,000)(0.55) + (-15\,200\,000\,000)(0.30) = -1\,695\,000\,000 - 6\,875\,000\,000 - 4\,560\,000\,000 =$$

-13 130 000 000

$$E(A3) = (-9\,500\,000\,000)(0.15) + (-11\,000\,000\,000)(0.55) + (-17\,800\,000\,000)(0.30) = -1\,425\,000\,000 - 6\,050\,000\,000 - 5\,340\,000\,000 =$$

-12 815 000 000

$$VE(II) = \frac{VE}{II} - \frac{VE}{ID} = \frac{VE}{II} - \frac{VE}{A3} = (-12\,577\,780\,000) - (-12\,815\,000\,000)$$

$$= (237\,220\,000)$$

$$VE(II) = 237\,220\,000$$

En resumen, la compra de información imperfecta debe ser menor a la compra de información perfecta, para poder darnos cuenta de cuanto es lo máximo que se puede pagar por la compra de información, es necesario resolver de los nodos más alejados al nodo principal.

TEMA 5. EL ENFOQUE DE LA UTILIDAD EN LAS DECISIONES

5.1 Concepto de Equivalente Bajo Certeza.

Método cuestionando equivalentes bajo certeza

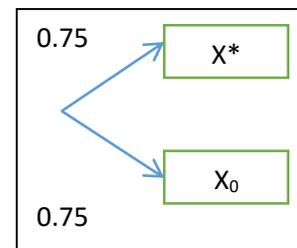
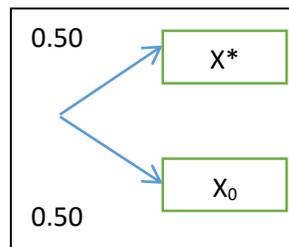
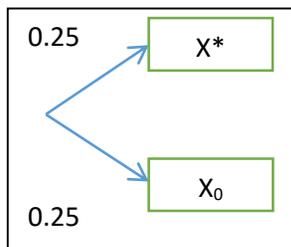
El conjunto de resultados posibles en orden de preferencia es:

$X = \{-9\,500\,000\,000, -10\,800\,000\,000, -11\,000\,000\,000, -11\,300\,000\,000, -12\,500\,000\,000, -13\,100\,000\,000, -14\,200\,000\,000, -15\,200\,000\,000, -17\,800\,000\,000\}$

Equivalente bajo certeza

$$U(x^*) = U(-9\,500\,000\,000) = 1$$

$$U(x^0) = U(-17\,800\,000\,000) = 0$$



$$U(\text{EBC} = -14\,200\,000\,000) = 0.25x^* + 0.75x^0$$

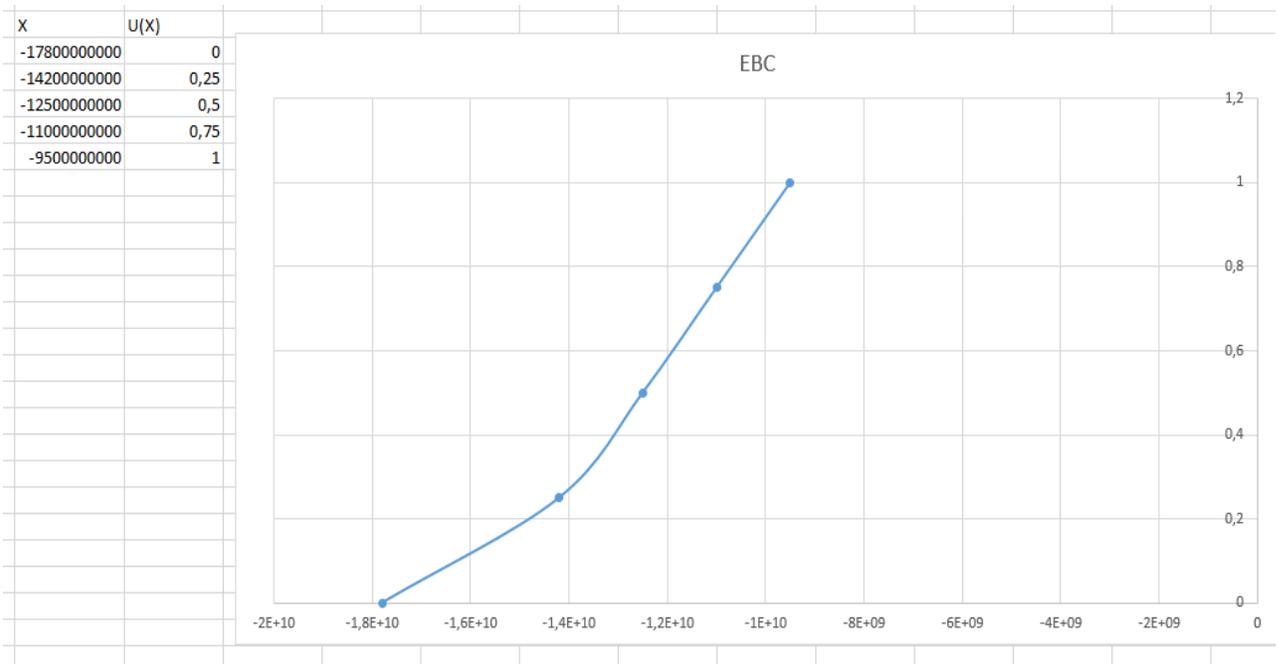
$$U(\text{EBC} = -14\,200\,000\,000) = 0.25(1) + 0.75(0) = 0.25$$

$$U(\text{EBC} = -12\,500\,000\,000) = 0.50x^* + 0.50x^0$$

$$U(\text{EBC} = -12\,500\,000\,000) = 0.50(1) + 0.50(0) = 0.50$$

$$U(\text{EBC} = -11\,000\,000\,000) = 0.75x^* + 0.25x^0$$

$$U(\text{EBC} = -11\,000\,000\,000) = 0.75(1) + 0.25(0) = 0.75$$



5.2 El Concepto de Lotería.

Método cuestionando probabilidades

El conjunto de resultados posibles en orden de preferencia es:

$X = \{-9\,500\,000\,000, -10\,800\,000\,000, -11\,000\,000\,000, -11\,300\,000\,000, -12\,500\,000\,000, -13\,100\,000\,000, -14\,200\,000\,000, -15\,200\,000\,000, -17\,800\,000\,000\}$

$$U(-9\,500\,000\,000) = 1$$

$$U(-17\,800\,000\,000) = 0$$

Nos dice que $P = 0.75$, entonces $u(-10\,800\,000\,000) = 0.75(1) + 0.25(0)$

por lo tanto :

$$u(-10\,800\,000\,000) = 0.75$$

El procedimiento se repite para $X_i = -11\,000\,000\,000, -11\,300\,000\,000, -12\,500\,000\,000, -13\,100\,000\,000, -14\,200\,000\,000, -15\,200\,000\,000$ y se obtienen las siguientes cantidades:

$$u(-11\ 000\ 000\ 000) = 0.70$$

$$u(-11\ 300\ 000\ 000) = 0.60$$

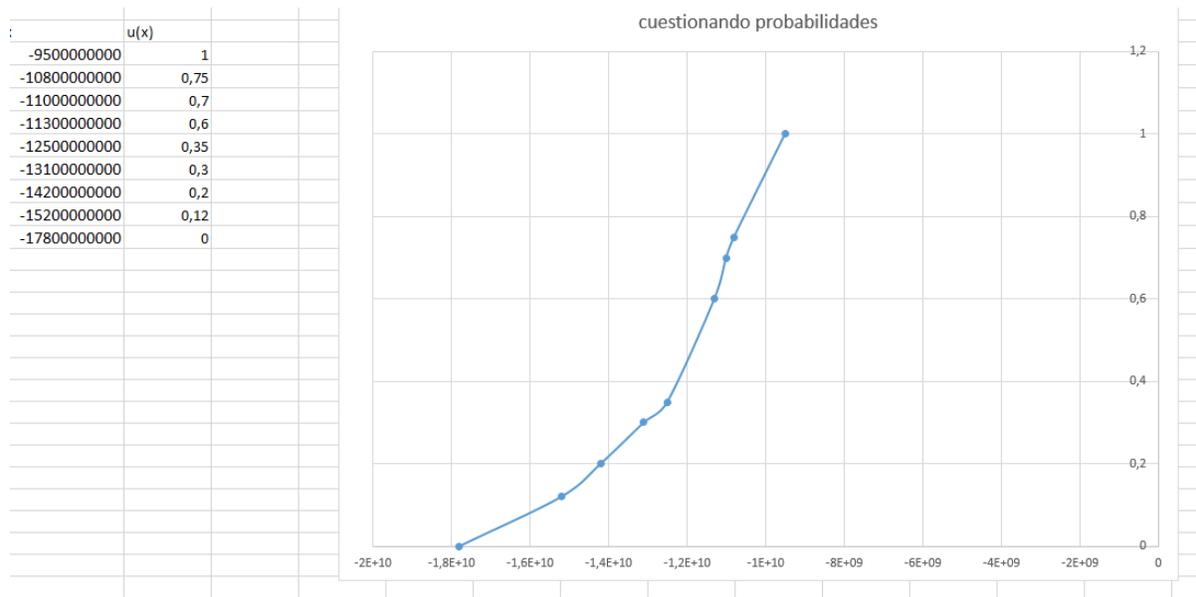
$$u(-12\ 500\ 000\ 000) = 0.35$$

$$u(-13\ 100\ 000\ 000) = 0.30$$

$$u(-14\ 200\ 000\ 000) = 0.20$$

$$u(-15\ 200\ 000\ 000) = 0.12$$

Graficando Tenemos:



5.3 Análisis de las Actitudes del Decisor.

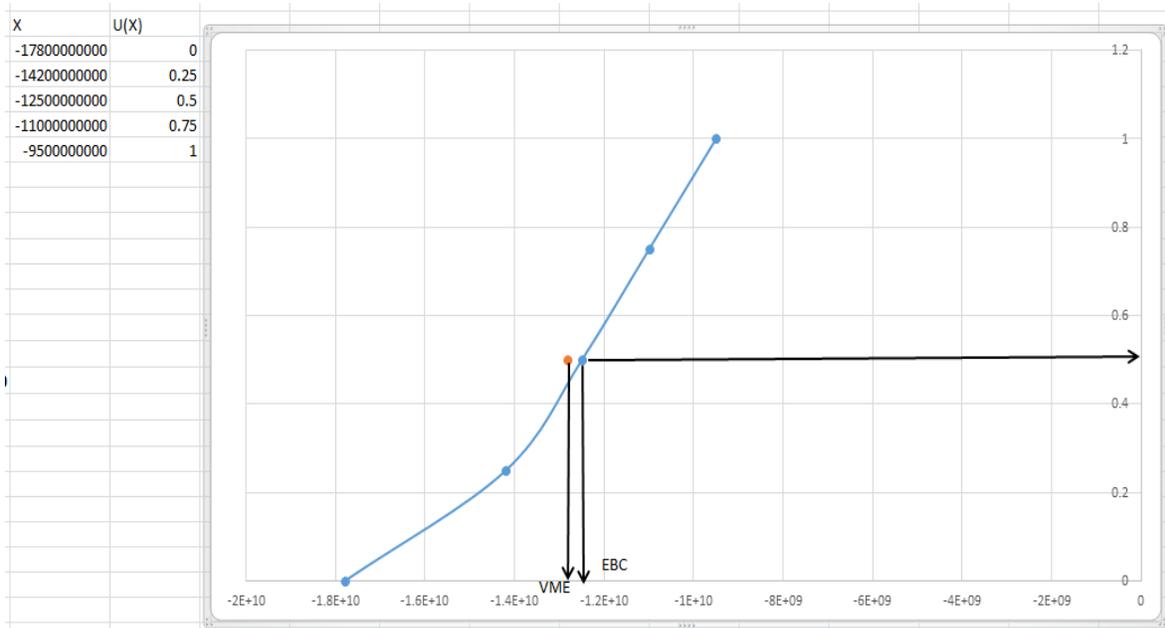
$$\mathbf{VME = -12\ 815\ 000\ 000}$$

$$\mathbf{EBC = -12500000000}$$

$$\mathbf{PR = VME - EBC}$$

$$\mathbf{PR = (-12\ 815\ 000\ 000) - (-12\ 500\ 000\ 000)}$$

$$\mathbf{PR = -315\ 000\ 000}$$



El valor monetario esperado se ubica a la izquierda del equivalente bajo certeza y con la prima de riesgo negativa esto significa que se está dispuesto a pagar para la situación de riesgo, la curva es de tipo convexa.

En resumen, se utilizó el valor esperado y utilidad del dinero como medida de efectividad para seleccionar entre las alternativas.

Además, la curva de utilidad del decisor permitió identificar su actitud hacia el riesgo, en nuestro caso, el decisor si está dispuesto a pagar por la situación de riesgo.

TEMA 6. MULTIOBJETIVOS.

Objetivos:

X_1 = costo

X_2 = tiempo

X_3 = disminuir el riesgo de fallas del sistema de drenaje

6.1. Independencia entre los Objetivos.

Independencia Preferencial Mutua.

Se tiene un costo X_1 y un tiempo X_2 . Se tiene un tiempo de construcción de 5 años y otro tiempo de 6 años y se sabe que el costo permanecerá igual en ambos tiempos. Y se prefiere que se culmine el proyecto en 5 años entonces X_1 es preferencialmente independiente de X_2 .

Además, se tiene un tiempo X_2 y una disminución en las fallas de drenaje X_3 . Se tiene un tiempo de construcción de 5 años y otro tiempo de 6 años y se sabe que en ambos periodos de tiempo se la disminución del riesgo de fallas del sistema de drenaje será la misma. Se prefiere que se culmine el proyecto en 5 años entonces X_3 es preferencialmente independiente de X_2 .

Finalmente, se tiene un costo X_1 y una disminución en las fallas de drenaje X_3 . Se pretende disminuir el riesgo en las fallas de drenaje un 40 % o bien, alcanzar hasta un 65 %, y se sabe que en ambos casos el costo permanecerá igual. Se prefiere que las disminuciones en las fallas alcancen el 65%, entonces X_3 es preferencialmente independiente a X_1 .

