**\_\_**

**/ /\_**

**| '\_ \**

**| (\_) |**

**\\_\_\_/**

**\_\_\_\_ \_ \_**

**| \_ \ \_ \_\_ \_\_\_ | |\_\_ | | \_\_\_ \_ \_\_ \_\_\_ \_\_ \_ \_\_\_**

**| |\_) | '\_\_/ \_ \| '\_ \| |/ \_ \ '\_ ` \_ \ / \_` / \_\_|**

**| \_\_/| | | (\_) | |\_) | | \_\_/ | | | | | (\_| \\_\_ \**

**|\_| |\_| \\_\_\_/|\_.\_\_/|\_|\\_\_\_|\_| |\_| |\_|\\_\_,\_|\_\_\_/**

**\_ \_\_\_\_\_ \_**

**\_\_| | \_\_\_ |\_ \_| \_\_ \_\_ \_ \_ \_\_ \_\_\_ \_ \_\_ \_\_\_ \_ \_\_| |\_ \_\_\_**

**/ \_` |/ \_ \ | || '\_\_/ \_` | '\_ \/ \_\_| '\_ \ / \_ \| '\_\_| \_\_/ \_ \**

**| (\_| | \_\_/ | || | | (\_| | | | \\_\_ \ |\_) | (\_) | | | || \_\_/**

**\\_\_,\_|\\_\_\_| |\_||\_| \\_\_,\_|\_| |\_|\_\_\_/ .\_\_/ \\_\_\_/|\_| \\_\_\\_\_\_|**

**|\_|**

**Contenido.**

**==========**

**1. Introducción.**

**2. Descripción del Problema.**

**3. Solución Básica Factible.**

**4. La Esquina Norte-Oeste.**

**5. Matriz de Costo Mínimo.**

**6. El Método de Vogel.**

**7. Solución Óptima.**

**8. Método de "Stepping Stone".**

**9. Método MODI o U-V.**

**10. Degradación.**

**11. Desbalance.**

**12. Maximización.**

**13. Rutas Prohibidas.**

**14. Transbordo.**

**15. Resumen.**

**16. Ejercicios.**

**1. Introducción.**

**================**

**Los problemas de transporte son un tipo especial de problemas de programación lineal, donde el objetivo es minimizar el costo de distribuir un producto desde un número de fuentes a un número de destinos.**

**Se trata de distribuir un único producto desde un conjunto de plantas de producción o bodegas a un número de destinos donde el producto es necesitado tratando de minimizar el costo total.**

**2. Descripción del Problema.**

**============================**

**Una empresa tiene tres fábricas F1, F2 y F3. Y tiene cuatro bodegas W1, W2, W3, W4. La producción diaria de las fábricas es de 50, 75 y 25 unidades respectivamente. Los requerimientos diarios de las bodegas son 20, 20, 50 y 60 unidades. El costo de transportar una unidad de producto de un fuente al destino se indica mediante la siguiente tabla. El problema consiste en establecer un plan de entregas que minimice el costo total de transporte.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 | 5 | 7 | 6 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 | 8 | 2 | 75 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 20 | 50 | 60 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**Para resolver el problema se utilizará la siguiente notación:**

**xij: establece la cantidad de unidades que se envían desde la fábrica i hacia la bodega j.**

**Por ejemplo la variable x23 indicará el número de unidades que se envía desde la fábrica 2 hasta la bodega 3.**

**A continuación se muestra en la tabla las variables que se utilizan para resolver el problema.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(x11) 3 |(x12) 5 |(x13) 7 |(x14) 6 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |(x21) 2 |(x22) 5 |(x23) 8 |(x24) 2 | 75 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |(x31) 3 |(x32) 6 |(x33) 9 |(x34) 2 | 25 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 20 | 50 | 60 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**De esta forma, el problema de programación lineal se puede plantear como:**

**Función Objetivo:**

**min z = 3 x11 + 5 x12 + 7 x13 + 6 x14**

**+ 2 x21 + 5 x22 + 8 x23 + 2 x24**

**+ 3 x31 + 6 x32 + 9 x33 + 2 x34**

**Restricciones de oferta:**

**x11 + x12 + x13 + x14 = 50**

**x21 + x22 + x23 + x24 = 75**

**x31 + x32 + x33 + x34 = 25**

**Restricciones de la demanda:**

**x11 + x21 + x31 = 20**

**x12 + x22 + x32 = 20**

**x13 + x23 + x33 = 50**

**x14 + x24 + x34 = 60**

**Restricciones de no negatividad y de valor entero.**

**xij >= 0**

**xij enteros**

**para i:=1,2,3**

**j:=1,2,3,4**

**El problema anterior posee 7 restricciones y 12 variables. Los problemas de transporte en la vida real tienen gran cantidad de restricciones y variables por lo que se han desarrollado métodos especiales para su solución.**

**Para que existe una solución factible es necesario que la oferta total sea igual a la demanda total. Si esto ocurre se llama un problema de transporte balanceado.**

**En general si hay m oferentes y n demandantes la solución tendrá:**

**(m \* n) variables totales**

**(m + n - 1) variables básicas**

**Al igual que con el método simplex se encontrará primero una solución básica factible y luego se realizarán mejoras hasta llegar al valor óptimo.**

**3. Solución Básica Factible.**

**============================**

**Al igual que con el algoritmo de simplex se utilizarán dos fases. en la primera fase se encontrará una solución básica factible y en la segunda fase se hará un proceso iterativo para llegar al óptimo.**

**Para encontrar la solución básica factible se presentan los siguientes algoritmos.**

**4. La Esquina Norte-Oeste.**

**==========================**

**El método de la esquina noroeste es una técnica para encontrar una solución factible al problema de transporte. Las variables se van seleccionado desde la esquina noroeste hacia la esquina sureste.**

**Algoritmo:**

**----------**

**(1) Seleccione la celda en la esquina noroeste (arriba a la izquierda) y asigne a la variable la cantidad mínima entre la oferta y la demanda.**

**(2) Ajuste la oferta y la demanda en las respectivas columnas.**

**(3) Si se satisface la demanda, entonces muévase horizontalmente a la siguiente celda.**

**(4) Si se satisface la oferta, entonces muévase verticalmente a la siguiente celda.**

**(5) Si la oferta y la demanda son iguales se puede mover en cualquier dirección.**

**(6) Continúe el proceso hasta que se agoten la oferta y la demanda.**

**Ejemplo.**

**--------**

**Iteración 0:**

**Se tiene la siguiente tabla inicial de transporte**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 | 5 | 7 | 6 | 50 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 | 8 | 2 | 75 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 20 | 50 | 60 | 150 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 1:**

**Iniciando en la esquina noroeste se asigna el mínimo entre la oferta y la demanda.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 3 | 5 | 7 | 6 | 50/30 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 | 8 | 2 | 75 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20 | 50 | 60 | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 2:**

**Como la demanda queda en 0 se sigue hacia la derecha.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 3 |(20) 5 | 7 | 6 | 50/30/10 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 | 8 | 2 | 75 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20/0 | 50 | 60 | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 3:**

**Como la demanda queda en 0 se sigue hacia la derecha.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 3 |(20) 5 |(10) 7 | 6 | 50/30/10/0|**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 | 8 | 2 | 75 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20/0 | 50/40 | 60 | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 4:**

**Como la oferta queda en 0 se sigue hacia abajo.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 3 |(20) 5 |(10) 7 | 6 | 50/30/10/0|**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 |(40) 8 | 2 | 75/35 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20/0 |50/40/0| 60 | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 5:**

**Como la demanda queda en 0 se sigue hacia la derecha.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) |(20) 5 |(10) 7 | 6 | 50/30/10/0|**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 |(40) 8 |(35) 2 | 75/35/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20/0 |50/40/0| 60/25 | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 6:**

**Como la oferta queda en 0 se sigue hacia abajo.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 3 |(20) 5 |(10) 7 | 6 | 50/30/10/0|**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 |(40) 8 |(35) 2 | 75/35/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 |(25) 2 | 25/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20/0 |50/40/0|60/25/0| |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**Se obtiene la respuesta final:**

**x11 = 20**

**x12 = 20**

**x13 = 10**

**x23 = 40**

**x24 = 35**

**x34 = 25**

**Y el valor de z está dado por:**

**z = (20\*3) + (20\*5) + (10\*7) + (40\*8) + (35\*2) + (25\*2)**

**z = 670**

**5. Matriz de Costo Mínimo.**

**==========================**

**La matriz de costo mínimo es un método para computar una solución inicial factible del problema de transporte donde las variables básicas se escogen de acuerdo al costo mínimo de transporte. Es un método útil ya que suele dar soluciones más cercanas al óptimo que el método anterior.**

**Algoritmo:**

**----------**

**(1) Identifique la celda con el costo de transporte mínimo.**

**(2) Si la celda de costo mínimo no es única, escoja cualquier de ellas de manera arbitraria.**

**(3) Escoja el valor de la variable entrante como el mínimo entre la oferta y la demanda.**

**(4) Continúe el proceso hasta terminar.**

**Ejemplo.**

**--------**

**Iteración 0:**

**Se tiene la siguiente tabla inicial de transporte**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 | 5 | 7 | 6 | 50 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 | 8 | 2 | 75 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 20 | 50 | 60 | 150 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 1:**

**Se escoje la celda de valor mínimo.**

**En caso de empate se escoje de forma arbitraria.**

**Como W1 queda en cero, no se toma más en cuenta.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 | 5 | 7 | 6 | 50 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |(20) 2 | 5 | 8 | 2 | 75/55 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20 | 50 | 60 | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 2:**

**Se escoje la celda de valor mínimo.**

**En caso de empate se escoje de forma arbitraria.**

**Como F2 queda en cero, no se toma más en cuenta.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 | 5 | 7 | 6 | 50 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |(20) 2 | 5 | 8 |(55) 2 | 75/55/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20 | 50 | 60/5 | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 3:**

**Se escoje la celda de valor mínimo.**

**Como W4 queda en cero, no se toma más en cuenta.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 | 5 | 7 | 6 | 50 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |(20) 2 | 5 | 8 |(55) 2 | 75/55/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 |( 5) 2 | 25/20 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20 | 50 | 60/5/0| |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 4:**

**Se escoje la celda de valor mínimo.**

**Como W2 queda en cero, no se toma más en cuenta.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 |(20) 5 | 7 | 6 | 50/30 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |(20) 2 | 5 | 8 |(55) 2 | 75/55/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 |( 5) 2 | 25/20 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20/0 | 50 | 60/5/0| |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 5:**

**Se escoje la celda de valor mínimo.**

**Como F1 queda en cero, no se toma más en cuenta.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 |(20) 5 |(30) 7 | 6 | 50/30/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |(20) 2 | 5 | 8 |(55) 2 | 75/55/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 |( 5) 2 | 25/20 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20/0 | 50/20 | 60/5/0| |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 6:**

**Se escoje la celda de valor mínimo.**

**Como F3 y W3 quedan en cero, no se toma más en cuenta.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 |(20) 5 |(30) 7 | 6 | 50/30/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |(20) 2 | 5 | 8 |(55) 2 | 75/55/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 |(20) 9 |( 5) 2 | 25/20/0 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20/0 |50/20/0| 60/5/0| |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**Se obtiene la respuesta final:**

**x12 = 20**

**x13 = 30**

**x21 = 20**

**x24 = 55**

**x33 = 20**

**x34 = 5**

**Y el valor de z está dado por:**

**z = (20\*5) + (30\*7) + (20\*2) + (55\*2) + (20\*9) + (5\*2)**

**z = 650**

**6. El Método de Vogel.**

**======================**

**El método de Vogel es un procedimiento iterativo para encontrar una solución básica factible que utiliza un proceso de penalización. Los resultados que producen suelen ser mejores que los métodos anteriores y usualmente queda muy cerca del valor óptimo.**

**Algoritmo:**

**----------**

**(1) En cada fila tome el costo mínimo y el siguiente costo y calcule la diferencia.**

**(2) En cada columna tome el costo mínimo y el siguiente costo y calcule la diferencia.**

**(3) Identifique la mayor diferencia:**

**Si se encuentra en una fila, encuentre el menor valor de la fila y asigne la mayor cantidad de unidades posible.**

**Si se encuentra en una columna, encuentre el menor valor de la columna y asigne la mayor cantidad de unidades posibles.**

**(4) Si hay empates en las diferencias puede escoger de manera arbitraria cualquiera de ellas.**

**(5) Continúe el proceso hasta terminar.**

**Ejemplo.**

**--------**

**>>> Iteración 0: Se tiene el siguiente problema de transporte.**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 3 | 5 | 7 | 6 | 50 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 | 8 | 2 | 75 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 20 | 50 | 60 | 150 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+-----------+**

**>>> Iteración 1:**

**Se pone el valor de x11=20**

**Se elimina W1**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 3 | 5 | 7 | 6 | 50/30 | 5-3=2 \***

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 | 5 | 8 | 2 | 75 | 2-2=0**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 | 2 | 25 | 3-2=1**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 20 | 50 | 60 | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**3-2=1 5-5=0 8-7=1 2-2=0**

**>>> Iteración 2:**

**Se pone el valor de x34=25.**

**Se elimina F3**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 5 | 7 | 6 | 30 | 6-5=1**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 5 | 8 | 2 | 75 | 5-2=3**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 6 | 9 |(25) 2 | 25/0 | 6-2=4 \***

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 20 | 50 | 60/35 | |**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**5-5=0 8-7=1 2-2=0**

**>>> Iteración 3:**

**Se pone el valor de x24=35.**

**Se elimina W4.**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 5 | 7 | 6 | 30 | 6-5=1**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 5 | 8 |(35) 2 | 75/40 | 5-2=3**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 20 | 50 | 35/0 | |**

**+-------+-------+-------+-------+----------+**

**5-5=0 8-7=1 6-2=4\***

**>>> Iteración 4:**

**Se pone el valor de x22=20.**

**Se elimina W2**

**+-------+-------+-------+-----------+**

**| | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | |**

**+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | |**

**|F1 | 5 | 7 | 30 | 7-5=2**

**+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | |**

**|F2 |(20) 5 | 8 | 40/20 | 8-5=3\***

**+-------+-------+-------+-----------+**

**| | | | |**

**|Demanda| 20/0 | 50 | |**

**+-------+-------+-------+-----------+**

**5-5=0 8-7=1**

**>>> Iteración 5:**

**Se pone el valor de x13=30**

**Se elimina F1**

**+-------+-------+----------+**

**| | W3 | Oferta |**

**| | | |**

**+-------+-------+----------+**

**| | | |**

**|F1 |(30) 7 | 30/0 | na**

**+-------+-------+----------+**

**| | | |**

**|F2 | 8 | 20 | na**

**+-------+-------+----------+**

**| | | |**

**|Demanda| 50/20 | |**

**+-------+-------+----------+**

**8-7=1\***

**>>> Iteración 6:**

**Se pone el valor de x23=20**

**Se elimina F2**

**+-------+-------+----------+**

**| | W3 | Oferta |**

**| | | |**

**+-------+-------+----------+**

**| | | |**

**|F2 |(20) 8 | 20/0 | na**

**+-------+-------+----------+**

**| | | |**

**|Demanda| 20/0 | |**

**+-------+-------+----------+**

**na**

**Por lo tanto la solución final será:**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 3 | 5 |(30) 7 | 6 | 50 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 2 |(20) 5 |(20) 8 |(35) 2 | 75 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 9 |(25) 2 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 20 | 50 | 60 | |**

**| | | | | | |**

**| | | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+-------+----------+**

**Que se puede escribir como:**

**x11 = 20**

**x13 = 30**

**x22 = 20**

**x23 = 20**

**x24 = 35**

**x33 = 25**

**Y el valor de z estará dado por:**

**z = (20\*3) + (30\*7) + (20\*5) + (20\*8) + (35\*2) + (35\*2) + (25\*2)**

**z = 650**

**7. Solución Óptima.**

**===================**

**Después de computar una solución básica factible, se debe proceder a determinar si la solución obtenida es óptima o no. En las secciones siguientes se presentan varios métodos para encontrar la solución óptima de un problema de transporte.**

**8. Método de "Stepping Stone".**

**==============================**

**A continuación se presenta un primer algoritmo para encontrar la solución óptima de un problema de transporte.**

**Algoritmo:**

**----------**

**(1) Encontrar una solución inicial básica factible.**

**(2) Seleccione una celda no ocupada, encuentre un camino cerrado, iniciando en la celda no ocupada hasta regresar a esta misma celda. Las celdas en los puntos de regreso se llaman "stepping stones".**

**(3) Asigne los signos (+) y (-) de manera alternativa en cada celda de esquina del camino. Inicie con un (+) en la celda inicial no ocupada.**

**(4) Sume los costos de transporte asociados al camino. Este valor se denominará valor del cambio en la red.**

**(5) Repita los pasos anteriores hasta evaluar todas las celdas desocupadas.**

**(6) Revise el valor de cambio en la red.**

**Si todos los valores calculados son mayores o iguales a cero, se ha alcanzado un valor óptimo.**

**De lo contrario, es posible mejorar la solución actual utilizando el procedimiento siguiente.**

**(7) Seleccione la celda desocupada que tenga el valor negativo más pequeño y determine el máximo número de unidades que se le puede asignar. Se tratará del valor positivo más pequeño, que tenga un signo (-) en el camino trazado. Sume este número a la celda desocupada y a las demás celdas del camino marcadas con (+). Reste este número a las demás celdas del camino marcadas con (-).**

**(8) Repita este método hasta obtener el valor óptimo.**

**Ejemplo.**

**--------**

**>>> Iteración 0:**

**Se tiene el siguiente problema de transporte.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 7 | 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 6 | 5 | 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | 55 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**>>> Iteración 1:**

**Se calcula una solución factible**

**Se usa matriz de costo mínimo y z=203.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**>>> Iteración 2:**

**Cálculo de las celdas vacías:**

**(F1,W1)= 2 - 1 + 3 - 7 = -3 (decremento)**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | - | | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | + | | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**(F1,W3)= 5 - 3 + 6 - 7 + 3 - 1 = 3 (incremento)**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | - | + | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | + | | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | | - | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**(F2,W3)= 4 - 3 + 6 - 7 = 0 (igual)**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | | + | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | | - | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**(F3,W2)= 5 - 6 + 7 - 3 = 3 (incremento)**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | - | | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | + | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**Se ha calculado:**

**(F1,W1)= 2 - 1 + 3 - 7 = -3 (decremento)**

**(F1,W3)= 5 - 3 + 6 - 7 + 3 - 1 = 3 (incremento)**

**(F2,W3)= 4 - 3 + 6 - 7 = 0 (igual)**

**(F3,W2)= 5 - 6 + 7 - 3 = 3 (incremento)**

**Por lo tanto**

**Se asigna min(10,13)=10 a (F1,W1).**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | - | | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | + | | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**Se obtiene la tabla final resultante**

**con z=173:**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**>>> Iteración 3:**

**Cálculo de las celdas vacías.**

**(F1,W2) = 1 - 3 + 7 - 2 = 3**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | + | | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | - | | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**(F1,W3) = 5 - 3 + 6 - 2 = 6**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | | + | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | | - | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**(F2,W3) = 4 - 3 + 6 - 7 = 0**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | | + | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | | - | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**(F3,W2) = 5 - 6 + 7 - 3 = 3**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | - | | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | + | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**Se tienen los valores:**

**(F1,W2) = 1 - 3 + 7 - 2 = 3**

**(F1,W3) = 5 - 3 + 6 - 2 = 6**

**(F2,W3) = 4 - 3 + 6 - 7 = 0**

**(F3,W2) = 5 - 6 + 7 - 3 = 3**

**Como todos los cálculos son mayores o iguales a cero se ha alcanzado el punto óptimo con la siguiente solución y un valor de z=173.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**Con la respuesta:**

**x11= 10**

**x21= 3**

**x22= 22**

**x31= 2**

**x33= 18**

**Y el valor de z está dado por:**

**z = (10\*2) + (3\*7) + (22\*3) + (2\*6) + (18\*3)**

**z = 173**

**9. Método MODI o U-V.**

**=====================**

**El método de distribución modificado conocido como "Modi" o "u-v" provee una solución de mínimo costo al problema de transporte. En el "stepping stone" se debe calcular una nueva ruta por cada celda desocupada. En el método u-v se evalúa únicamente la ruta de la celda con el mayor costo de oportunidad. En general el método u-v es una mejoría del "stepping mode".**

**Algoritmo:**

**----------**

**(1) Determine una solución inicial factible.**

**(2) Determine los valores ui y vj de forma que:**

**ui + vj = cij**

**(3) Calcule el costo de oportunidad para las celdas desocupadas:**

**cij - (ui + vj)**

**(4) Revise el costo de oportunidad de todas las celdas desocupadas, si en todas es cero o positivo se ha llegado a un óptimo. Si alguna celda tiene un costo de oportunidad negativo se debe seguir el proceso.**

**(5) Seleccione la celda desocupada con el costo de oportunidad negativo más pequeño.**

**(6) Dibuje un camino cerrado desde la celda seleccionada pasando por celdas ocupadas.**

**(7) Asigne valores (+) y (-) de forma alternada entre las celdas con un signo de (+) en la celda que está siendo evaluada.**

**(8) Determine el máximo número de unidades que se pueden enviar a la celda. El valor positivo de envíos más pequeño con una marca de (-) indica el número de unidades que se le deben dar a la celda evaluada. Sume esta cantidad a las celdas con (+) y reste este cantidad a las celdas con (-).**

**(9) Repita el proceso hasta encontrar un valor óptimo.**

**Ejemplo 1.**

**----------**

**>>> Iteración 0**

**Se tiene el siguiente problema de transporte.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 7 | 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 6 | 5 | 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | 55 |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**>>> Iteración 1:**

**Se calcula una solución factible**

**Se usa matriz de costo mínimo con z=203.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**>>> Iteración 2:**

**Se calculan los valores de ui y vj.**

**Para ello se inicia de manera arbitraria con cualquier valor. Se iniciará con u1=0. Y se prosigue sobre las celdas ocupadas.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta | ui**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 | 0**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 | 2**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 | 1**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**vj 5 1 2**

**Se calcula el costo de oportunidad para las celdas desocupadas con la fórmula cij - (ui + vj):**

**(F1,W1) = 2 - (0 + 5) = -3\***

**(F1,W3) = 5 - (0 + 2) = 3**

**(F2,W3) = 4 - (2 + 2) = 0**

**(F3,W2) = 5 - (1 + 1) = 3**

**Por lo tanto se utiliza (F1,W1):**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | + | - | | |**

**|F1 | 2 |(10) 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | - | + | | |**

**|F2 |(13) 7 |(12) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**Que se convierte en esta tabla con z=173.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**>>> Iteración 3:**

**Se calculan los valores de ui y vj.**

**Para ello se inicia de manera arbitraria con cualquier valor. Se iniciará con u1=0. Y se prosigue sobre las celdas ocupadas.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta | ui**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 | 0**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 | 5**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 | 4**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**vj 2 -2 -1**

**Se calcula el costo de oportunidad para las celdas desocupadas con la fórmula cij - (ui + vj):**

**(F1,W2) = 1 - (0 + -2) = 3**

**(F1,W3) = 5 - (0 + -1) = 6**

**(F2,W3) = 4 - (5 + -1) = 0**

**(F3,W2) = 5 - (4 + -2) = 3**

**Como todos los cálculos son mayores o iguales a cero se ha alcanzado el punto óptimo con la siguiente solución y z=173.**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 |(10) 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |( 3) 7 |(22) 3 | 4 | 25 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 |( 2) 6 | 5 |(18) 3 | 20 |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 15 | 22 | 18 | |**

**+-------+-------+-------+-------+--------+**

**Con la respuesta:**

**x12= 10**

**x21= 3**

**x22= 22**

**x31= 2**

**x33= 18**

**Y el valor de z está dado por:**

**z = (10\*2) + (3\*7) + (22\*3) + (2\*6) + (18\*3)**

**z = 173**

**Ejemplo 2.**

**----------**

**>>> Iteración 0:**

**Se tiene el siguiente problema de transporte.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 19 | 30 | 50 | 12 | 7 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 70 | 30 | 40 | 60 | 10 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 40 | 10 | 60 | 20 | 18 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | 35 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 1:**

**Se encuentra una solución básica factible.**

**Se usa matriz de costo mínimo y z=894.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 19 | 30 | 50 |( 7) 12 | 7 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |( 3) 70 | 30 |( 7) 40 | 60 | 10 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |( 2) 40 |( 8) 10 | 60 |( 8) 20 | 18 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 2:**

**Se calculan los valores de ui y vj.**

**Para ello se inicia de manera arbitraria con cualquier valor. Se iniciará con u1=0. Y se prosigue sobre las celdas ocupadas.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta | ui**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 19 | 30 | 50 |( 7) 12 | 7 | 0**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |( 3) 70 | 30 |( 7) 40 | 60 | 10 | 38**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |( 2) 40 |( 8) 10 | 60 |( 8) 20 | 18 | 8**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**vj 32 2 2 12**

**Se calcula el costo de oportunidad para las celdas desocupadas con la fórmula cij - (ui + vj):**

**(F1,W1) = 19 - ( 0 + 32) = -13\***

**(F1,W2) = 30 - ( 0 + 2) = 28**

**(F1,W3) = 50 - ( 0 + 2) = 48**

**(F2,W2) = 30 - (38 + 2) = -10**

**(F2,W4) = 60 - (38 + 12) = 10**

**(F3,W3) = 60 - ( 8 + 2) = 50**

**Se escoge el costo de oportunidad negativo de menor valor, c11=-13 y se dibuja un camino cerrado que inicia en (F1,W1) con esquinas en las celdas ocupadas.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | + | | | - | |**

**|F1 | 19 | 30 | 50 |( 7) 12 | 7 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |( 3) 70 | 30 |( 7) 40 | 60 | 10 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | - | | | + | |**

**|F3 |( 2) 40 |( 8) 10 | 60 |( 8) 20 | 18 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**Se escoge la celda con (-) de menor valor y se envían esta cantidad de unidades a la celda entrante con lo que se obtiene la siguiente tabla. El valor de z=868.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |( 2) 19 | 30 | 50 |( 5) 12 | 7 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |( 3) 70 | 30 |( 7) 40 | 60 | 10 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 40 |( 8) 10 | 60 |(10) 20 | 18 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 3.**

**Se calculan de nuevo los valores ui y vj.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta | ui**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |( 2) 19 | 30 | 50 |( 5) 12 | 7 | 0**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 |( 3) 70 | 30 |( 7) 40 | 60 | 10 | 51**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 40 |( 8) 10 | 60 |(10) 20 | 18 | 8**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**vj 19 2 -11 12**

**Se calcula el costo de oportunidad para las celdas desocupadas con la fórmula:**

**cij - (ui + vj):**

**(F1,W2) = 30 - ( 0 + 2) = 28**

**(F1,W3) = 50 - ( 0 + -11) = 61**

**(F2,W2) = 30 - (51 + 2) = -23\***

**(F2,W4) = 60 - (51 + 12) = -3**

**(F3,W1) = 40 - ( 8 + 19) = 13**

**(F3,W3) = 60 - ( 8 + -11) = 63**

**Se escoge el costo de oportunidad negativo de menor valor, c22=-23 y se dibuja un camino cerrado que inicia en (F2,W2) con esquinas en las celdas ocupadas.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta | ui**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | + | | | - | |**

**|F1 |( 2) 19 | 30 | 50 |( 5) 12 | 7 | 0**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | - | + | | | |**

**|F2 |( 3) 70 | 30 |( 7) 40 | 60 | 10 | 51**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | - | | + | |**

**|F3 | 40 |( 8) 10 | 60 |(10) 20 | 18 | 8**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**vj 19 2 -11 12**

**Se escoge la celda con (-) de menor valor y se envían esta cantidad de unidades a la celda entrante.**

**Se obtiene la siguiente tabla con z=799.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |( 5) 19 | 30 | 50 |( 2) 12 | 7 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 70 |( 3) 30 |( 7) 40 | 60 | 10 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 40 |( 5) 10 | 60 |(13) 20 | 18 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 4.**

**Se calculan de nuevo los valores ui y vj.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta | ui**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |( 5) 19 | 30 | 50 |( 2) 12 | 7 | 0**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 70 |( 3) 30 |( 7) 40 | 60 | 10 | 28**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 40 |( 5) 10 | 60 |(13) 20 | 18 | 8**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 15 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**vj 19 2 12 12**

**Se calcula el costo de oportunidad para las celdas desocupadas con la fórmula cij - (ui + vj):**

**(F1,W2) = 30 - ( 0 + 2) = 28**

**(F1,W3) = 50 - ( 0 + 12) = 38**

**(F2,W1) = 70 - (28 + 19) = 23**

**(F2,W4) = 60 - (28 + 12) = 20**

**(F3,W1) = 40 - ( 8 + 19) = 13**

**(F3,W3) = 60 - ( 8 + 12) = 40**

**Como los costos de oportunidad son todos no negativos, la tabla de transporte es óptima:**

**x11= 5**

**x14= 2**

**x22= 3**

**x23= 7**

**x32= 5**

**x34= 13**

**Y un valor de z de:**

**z = (5\*19) + (2\*12) + (3\*30) + (7\*40) + (5\*10) + (13\*20)**

**z = 799**

**10. Degradación.**

**================**

**La solución básica factible de un problema de transporte con "m" orígenes y "n" destinos debe tener "m + n - 1" variables básicas.**

**Por ejemplo si hay 3 fábricas y 4 bodegas el número de variables deberá ser igual a 3 + 4 - 1 = 6.**

**Si el problema de transporte tiene menos de esta cantidad de variables se dice que es un problema degradado o bien que presenta una degradación.**

**La degradación puede ocurrir en dos estados:**

**() Cuando se calcula la solución inicial.**

**() Cuando se realiza un análisis para saber si se está en un punto óptimo.**

**Para resolver el problema de degradación se usa una cantidad artificial "0". La cantidad "0" se asigna a la celda desocupada que tenga el menor costo de transporte.**

**Ejemplo.**

**--------**

**>>> Iteración 0:**

**Se tiene el siguiente problema de transporte.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 4 | 6 | 8 | 8 | 40 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 6 | 8 | 6 | 7 | 60 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 5 | 7 | 6 | 8 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 1:**

**Al resolverlo mediante el método de la esquina noroeste se tiene un resultado con solamente 5 variables básicas y debería tener 6. Por lo tanto es un resultado degradado.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 4 |(20) 6 | 8 | 8 | 40 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 6 |(10) 8 |(50) 6 | 7 | 60 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 5 | 7 | 6 |(50) 8 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 2:**

**Para resolver el problema de degradación se debe asignar un valor 0 en la casilla que cumpla las siguientes condiciones:**

**-- Debe tener el menor valor.**

**-- No debe formar un "loop" con las casillas asignadas.**

**En este caso como se puede poner 0 en (F3,W1).**

**NO se podría poner en (F1,W3), (F2,W1).**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 4 |(20) 6 | 8 | 8 | 40 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 6 |(10) 8 |(50) 6 | 7 | 60 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |( 0) 5 | 7 | 6 |(50) 8 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 3:**

**Para resolver el problema se utilizará el método MODI.**

**Se calculan los ui y vj.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta | ui**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(20) 4 |(20) 6 | 8 | 8 | 40 | 0**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 6 |(10) 8 |(50) 6 | 7 | 60 | 2**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |( 0) 5 | 7 | 6 |(50) 8 | 50 | 1**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**vj 4 6 4 7**

**Se calculan los coeficientes de las celdas.**

**(F1,W3) = 8 - (0 + 4) = 4**

**(F1,W4) = 8 - (0 + 7) = 1**

**(F2,W1) = 6 - (2 + 4) = 0**

**(F2,W4) = 7 - (2 + 7) = -2\***

**(F3,W2) = 7 - (1 + 6) = 0**

**(F3,W3) = 6 - (1 + 4) = 1**

**La variable básica que entra es x24 y sale x22.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | - | + | | | |**

**|F1 |(20) 4 |(20) 6 | 8 | 8 | 40 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | - | | + | |**

**|F2 | 6 |(10) 8 |(50) 6 | 7 | 60 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | + | | | - | |**

**|F3 |( 0) 5 | 7 | 6 |(50) 8 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**Se obtiene la tabla:**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(10) 4 |(30) 6 | 8 | 8 | 40 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 6 | 8 |(50) 6 |(10) 7 | 60 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |(10) 5 | 7 | 6 |(40) 8 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 4:**

**Se calculan los ui y vj.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta | ui**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(10) 4 |(30) 6 | 8 | 8 | 40 | 0**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 6 | 8 |(50) 6 |(10) 7 | 60 | 0**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |(10) 5 | 7 | 6 |(40) 8 | 50 | 1**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**vj 4 6 6 7**

**Se calculan los coeficientes de las celdas.**

**(F1,W3) = 8 - (0 + 6) = 2**

**(F1,W4) = 8 - (0 + 7) = 1**

**(F2,W1) = 6 - (0 + 4) = 2**

**(F2,W2) = 8 - (0 + 6) = 2**

**(F3,W2) = 7 - (1 + 6) = 0**

**(F3,W3) = 6 - (1 + 6) = -1**

**Entra la variable x33 y sale x34.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(10) 4 |(30) 6 | 8 | 8 | 40 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | - | + | |**

**|F2 | 6 | 8 |(50) 6 |(10) 7 | 60 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | + | - | |**

**|F3 |(10) 5 | 7 | 6 |(40) 8 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**La tabla resultante es:**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(10) 4 |(30) 6 | 8 | 8 | 40 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 6 | 8 |(10) 6 |(50) 7 | 60 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |(10) 5 | 7 |(40) 6 | 8 | 50 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**>>> Iteración 5**

**Se calculan los ui y vj.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta | ui**

**| | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 |(10) 4 |(30) 6 | 8 | 8 | 40 | 0**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 6 | 8 |(10) 6 |(50) 7 | 60 | 1**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |(10) 5 | 7 |(40) 6 | 8 | 50 | 1**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 30 | 50 | 50 | 150 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+**

**vj 4 6 5 6**

**Se calculan los coeficientes de las celdas.**

**(F1,W3) = 8 - (0 + 5) = 3**

**(F1,W4) = 8 - (0 + 6) = 2**

**(F2,W1) = 6 - (1 + 4) = 1**

**(F2,W2) = 8 - (1 + 6) = 1**

**(F3,W2) = 7 - (1 + 6) = 0**

**(F3,W4) = 8 - (1 + 6) = 1**

**Por lo que estamos en un solución óptima con:**

**x11 = 10**

**x12 = 30**

**x23 = 10**

**x23 = 50**

**x31 = 10**

**x33 = 40**

**Y el valor de minimización es:**

**z = (10 \* 4) + (30 \* 6) + (10 \* 60) + (50 \* 7) + (10 \* 5) + (40 \* 60)**

**z = 920**

**11. Desbalance.**

**===============**

**Hasta ahora se ha supuesto que el total de la oferta debe ser igual al total de la demanda. Sin embargo en ciertas ocasiones no ocurre esto. Un problema de transporte donde la demanda y la oferta no son iguales se conoce como un problema desbalanceado.**

**En este caso si la oferta es mayor que la demanda se introduce una columna adicional, que indicará la oferta no transportada. De forma similar, si la demanda es mayor que la oferta s introduce una fila adicional que indicará la cantidad de la demanda no satisfecha.**

**>>> Iteración 0:**

**Se tiene el siguiente problema de transporte desbalanceado.**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 8 | 5 | 7 | 500 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 15 | 6 | 2 | 300 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 150 | 400 | 450 | Desbalance |**

**| | | | | 1000 =/= 800 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**>>> Iteración 1:**

**Para balancearlo se agrega una fila adicional.**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 8 | 5 | 7 | 500 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 15 | 6 | 2 | 300 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|F3\* | 0 | 0 | 0 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 150 | 400 | 450 | 1000 |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**Al resolver el problema se obtiene la siguiente solución, con un valor de z = 3300.**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 8 | (400) 5 | (100) 7 | 500 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 15 | 6 | (300) 2 | 300 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|F3\* | (150) 0 | 0 | (50) 0 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 150 | 400 | 450 | 1000 |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------------+**

**12. Maximización.**

**=================**

**En algunos problemas de transporte puede ocurrir que la función objetivo sea de maximización en lugar de minimización. Para resolverlos la función de maximización se convierte en una función de minimización.**

**Para convertir un problema de transporte de maximización en uno de minimización se debe restar cada costo de transporte del costo mayor.**

**>>> Iteración 0:**

**Un problema de transporte de maximización.**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 12 | 18 | 6 | 25 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 8 | 7 | 10 | 18 | 500 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 14 | 13 | 11 | 20 | 300 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 180 | 320 | 100 | 400 | 1000 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**>>> Iteración 1:**

**El costo máximo es 25.**

**A cada casilla se resta 25-cij**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 13 | 7 | 19 | 0 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 17 | 18 | 15 | 7 | 500 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 11 | 12 | 14 | 5 | 300 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 180 | 320 | 100 | 400 | 1000 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**Iteración Final:**

**Al resolver este problema se obtienen las siguientes respuestas con un valor de:**

**z = 9600.**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 13 |(200) 7 | 19 | 0 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 17 |(120) 18 |(100) 15 |(280) 7 | 500 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |(180) 11 | 12 | 14 |(120) 5 | 300 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 180 | 320 | 100 | 400 | 1000 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**Cálculo del valor de z:**

**Para obtener el verdadero valor de z se deben restablecer los costos originales de la matriz.**

**con la tabla siguiente se puede calcular que z = 15,400**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 12 |(200) 18 | 6 | 25 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 8 |(120) 7 |(100) 10 |(280) 18 | 500 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 |(180) 14 | 13 | 11 |(120) 20 | 300 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 180 | 320 | 100 | 400 | 1000 |**

**+-------+---------+---------+---------+---------+--------+**

**13. Rutas Prohibidas.**

**=====================**

**En algunas ocasiones se pueden presentar situaciones donde no se puede utilizar una ruta de entrega. Por ejemplo si la ruta está en construcción o reparación, si hay una huelga que la obstaculiza, inundaciones, tráfico pesado, etc. Este problema se puede manejar de dos formas.**

**() Asignar un valor muy grande que se denominará M a esa ruta.**

**() Poner una equis sobre la ruta y evitar hacer cualquier asignación.**

**>>> Iteración 0:**

**Un problema con rutas no posiles.**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 16 | M | 12 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 14 | 8 | 18 | 160 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 26 | M | 16 | 90 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 180 | 120 | 150 | 450 |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**>>> Iteración 0:**

**De igual forma se puede usar un valor grande para M.**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 16 | 1000 | 12 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 14 | 8 | 18 | 160 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 26 | 1000 | 16 | 90 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 180 | 120 | 150 | 450 |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**Al resolver este problema se tiene la siguiente solución, con un valor:**

**z = 5,920**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 |(140) 16 | 1000 |(60) 12 | 200 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 |( 40) 14 |(120) 8 | 18 | 160 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 26 | 1000 |(90) 16 | 90 |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 180 | 120 | 150 | 450 |**

**| | | | | |**

**+-------+---------+---------+---------+--------+**

**En este tipo de problemas se suele utilizar el método de la matriz de mínimo costo o de Vogel para encontrar la primera solución básica pues de inmediato descartarán las casillas marcadas con M.**

**14. Transbordo.**

**===============**

**En el problema de transporte los artículos se envían siempre del origen, usualmente fábrica, hacia un destino final, usualmente bodega. Sin embargo existen diferentes situaciones donde puede resultar económico enviar los artículos a través de puntos intermedios. El problema de transbordo los artículos no se envían de manera directa del origen al destino, sino que se envían a través de varios puntos intermedios antes de llegar a su destino final. Por ejemplo se puede tratar de un empresa que envía de sus fábricas hacia grandes bodegas nacionales, que a su vez envían los artículos hacia bodegas locales que hacen llegar los artículos a los puntos de venta. En resumen el problema de transbordo es un caso especial del problema de transporte donde se consideran puntos intermedios en el envío.**

**Considere el siguiente ejemplo donde los puntos de origen son plantas y los puntos finales son bodegas. Los costos de transporte unitario, la capacidad de las plantas y los requerimientos de los depósitos de indican en las tablas siguientes. Se pueden enviar artículos de una fábrica a un depósito, o bien de una fábrica a otra, o de una bodega a otro.**

**Tabla 1:**

**Costos de envío de las fábricas a las bodegas.**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | X | Y | Z | Oferta |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**|A | 1 | 3 | 15 | 150 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**|B | 3 | 5 | 25 | 300 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**|Demanda| 150 | 150 | 150 | 450 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**Tabla 2:**

**Costos de envío de fábrica a fábrica.**

**+-------+------+------+**

**| | A | B |**

**+-------+------+------+**

**|A | 0 | 65 |**

**+-------+------+------+**

**|B | 1 | 0 |**

**+-------+------+------+**

**Tabla 3:**

**Costos de envío de bodega a bodega.**

**+-------+------+------+------+**

**| | X | Y | Z |**

**+-------+------+------+------+**

**|X | 0 | 23 | 1 |**

**+-------+------+------+------+**

**|Y | 1 | 0 | 3 |**

**+-------+------+------+------+**

**|Z | 65 | 3 | 0 |**

**+-------+------+------+------+**

**Tabla 4:**

**Costos de envío de bodega a fábrica.**

**+-------+------+------+**

**| | A | B |**

**+-------+------+------+**

**|X | 3 | 15 |**

**+-------+------+------+**

**|Y | 25 | 3 |**

**+-------+------+------+**

**|Z | 45 | 55 |**

**+-------+------+------+**

**De las tablas anteriores se obtiene la formulación del problema de transporte que representa este problema de transbordo.**

**Tabla Final.**

**Integración de las tablas anteriores.**

**Con 5 orígenes y 5 destinos.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | A | B | X | Y | Z | Oferta |**

**| | | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|A | 0 | 65 | 1 | 3 | 15 | 450+150=600|**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|B | 1 | 0 | 3 | 5 | 25 | 450+300=750|**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|X | 3 | 15 | 0 | 23 | 1 | 450 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|Y | 25 | 3 | 1 | 0 | 3 | 450 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|Z | 45 | 55 | 65 | 3 | 0 | 450 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | |**

**|Demanda| | | +150 | +150 | +150 | 2700 |**

**| | | | =600 | =600 | =600 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**Al resolver este problema se encuentra la siguiente solución, con un valor de:**

**z = 1200.**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | A | B | X | Y | Z | Oferta |**

**| | | | | | | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|A |(150) 0 | 65 |(300) 1 |(150) 3 | 15 | 450+150=600|**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|B |(300) 1 |(450) 0 | 3 | 5 | 25 | 450+300=750|**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|X | 3 | 15 |(300) 0 | 23 |(150) 1 | 450 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|Y | 25 | 3 | 1 |(450) 0 | 3 | 450 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | | | | | | |**

**|Z | 45 | 55 | 65 | 3 |(450) 0 | 450 |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**| | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | |**

**|Demanda| | | +150 | +150 | +150 | 2700 |**

**| | | | =600 | =600 | =600 | |**

**+-------+--------+--------+--------+--------+--------+------------+**

**En forma de red se puede ver que la solución tiene los siguientes flujos. El número que se observa dentro de cada nodo corresponde a la producción inicial de cada fábrica. Observe que al final se tendrán las siguientes cantidades.**

**A quedará con 0 unidades.**

**B quedará con 0 unidades.**

**X quedará con 150 unidades.**

**Y quedará con 150 unidades.**

**Z quedará con 150 unidades.**

**Con un valor de z=$1200**

**,---. ,---.**

**300 / \ 150 / \**

**+------>( X )------->( Z )**

**| \ / \ /**

**,---. ,---. | `---' `---'**

**/ \ 300 / \ |**

**( B )------->( A )+**

**\ 300 / \ 150 / |**

**`---' `---' | ,---.**

**| 150 / \**

**+------>( Y )**

**\ /**

**`---'**

**15. Resumen.**

**============**

**Se ha introducido un problema especial de programación lineal conocido como problema de transporte. En este tipo de problema se desea llevar un artículo de diferentes orígenes a destinos buscando el mínimo costo de envío. Para resolver este problema se ha construido una tabla especial para realizar las operaciones sobre esa tabla.**

**Para encontrar una solución inicial factible se debe utilizar el método de la esquina noroeste, el método de la matriz de menor costo o bien el método de Vogel. Una vez encontrada la solución inicial se procede a encontrar una solución óptima. Para ello se debe utilizar el método de "stepping stone" o bien el método de "u-v".**

**Existen algunas condiciones especiales que se deben tomar en cuenta cuando se resuelven este tipo de problemas. La degradación es cuando una solución básica tiene menos variables de las que se necesita. El desbalance ocurre cuando la oferta y la demanda no son iguales. Si el problema es de maximización debe convertirse a un problema de minimización. Además pueden existir rutas no viables o prohibidas.**

**Finalmente se presentó el problema de transbordo. En este problema los artículos no van directamente a su destino sino que pueden pasar por puntos intermedios.**

**+++**

**16. Ejercicios.**

**===============**

**() Ejercicio 1.**

**Describa en qué consiste el problema de transporte y los supuestos que se deben dar en su formulación.**

**() Ejercicio 2.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte.**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 14 | 16 | 12 | 20 | 100 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 12 | 14 | 10 | 8 | 40 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 10 | 16 | 8 | 15 | 60 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 30 | 50 | 65 | 55 | 200 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 3.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte.**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 | 7 | 4 | 5 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 3 | 3 | 1 | 8 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 5 | 4 | 7 | 7 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F4 | 1 | 6 | 1 | 14 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 7 | 9 | 18 | 34 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 4.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte.**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 | Oferta |**

**| | | | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|F1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 5 | 1 | 30 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|F2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 50 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|F3 | 4 | 2 | 5 | 9 | 6 | 2 | 75 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|F4 | 3 | 1 | 7 | 3 | 4 | 6 | 20 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|Demanda| 20 | 40 | 30 | 10 | 50 | 25 | 175 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 5.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte.**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 8 | 7 | 2 | 60 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 3 | 8 | 9 | 70 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 11 | 4 | 5 | 80 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 50 | 80 | 80 | 210 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 6.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte.**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 10 | 7 | 3 | 6 | 3 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 1 | 6 | 8 | 3 | 5 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 7 | 4 | 5 | 3 | 7 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 3 | 2 | 6 | 4 | 15 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 7.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte.**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 7 | 3 | 3 | 4 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 3 | 1 | 4 | 1 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 4 | 3 | 6 | 5 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 2 | 3 | 5 | 10 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 8.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte.**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 | Oferta |**

**| | | | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|F1 | 9 | 12 | 9 | 6 | 9 | 10 | 5 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|F2 | 7 | 3 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|F3 | 6 | 5 | 9 | 11 | 3 | 11 | 2 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|F4 | 6 | 8 | 11 | 2 | 2 | 10 | 2 |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | | |**

**|Demanda| 4 | 4 | 6 | 2 | 4 | 2 | |**

**+-------+------+------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 9.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte.**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 4 | 3 | 0 | 5 | 24 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 1 | 2 | 6 | 1 | 17 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 3 | 6 | 2 | 3 | 19 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 15 | 19 | 18 | 8 | 60 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 10.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte utilizando el método de "stepping stone" y "u-v".**

**+--------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+--------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**| F1 | 2 | 1 | 5 | 10 |**

**+--------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**| F2 | 7 | 3 | 4 | 25 |**

**+--------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**| F3 | 6 | 5 | 3 | 20 |**

**+--------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**| Demanda| 15 | 22 | 18 | 55 |**

**+--------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 11.\***

**Resuelva el siguiente problema de transporte:**

**(a) Utilice esquina noroeste y Modi.**

**(b) Utilice matriz de costo mínimo y Modi.**

**(c) Utilice Vogel y Modi.**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 19 | 30 | 50 | 10 | 7 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 70 | 30 | 40 | 60 | 9 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 40 | 8 | 70 | 20 | 18 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 8 | 7 | 14 | 34 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 12.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte:**

**(a) Utilice esquina nor-oeste y Modi.**

**(b) Utilice matriz de costo mínimo y Modi.**

**(c) Utilice Vogel y Modi.**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 14 | 9 | 18 | 6 | 11 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 10 | 11 | 7 | 16 | 13 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 25 | 20 | 11 | 34 | 19 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 6 | 10 | 12 | 15 | 43 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 13.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte:**

**(a) Utilice esquina nor-oeste y Modi.**

**(b) Utilice matriz de costo mínimo y Modi.**

**(c) Utilice Vogel y Modi.**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | Oferta |**

**| | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F1 | 10 | 22 | 0 | 20 | 8 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F2 | 15 | 20 | 12 | 8 | 13 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|F3 | 20 | 12 | 10 | 15 | 11 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | |**

**|Demanda| 5 | 11 | 8 | 8 | 32 |**

**+-------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 14.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte:**

**(a) Utilice esquina nor-oeste y Modi.**

**(b) Utilice matriz de costo mínimo y Modi.**

**(c) Utilice Vogel y Modi.**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | Oferta |**

**| | | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|F1 | 12 | 4 | 9 | 5 | 9 | 55 |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|F2 | 8 | 1 | 6 | 6 | 7 | 45 |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|F3 | 1 | 12 | 4 | 7 | 7 | 30 |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|F4 | 10 | 15 | 6 | 9 | 1 | 50 |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|Demanda| 40 | 20 | 50 | 30 | 40 | 180 |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 15.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte:**

**(a) Utilice esquina nor-oeste y Modi.**

**(b) Utilice matriz de costo mínimo y Modi.**

**(c) Utilice Vogel y Modi.**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**| | | | | |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F1 | 2 | 4 | 1 | 40 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F2 | 6 | 3 | 2 | 50 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F3 | 4 | 5 | 6 | 20 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F4 | 3 | 2 | 1 | 30 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|F5 | 5 | 2 | 5 | 10 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | | | | |**

**|Demanda| 50 | 60 | 40 | 150 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 16.**

**Resuelva el siguiente problema de transporte:**

**(a) Utilice esquina noroeste y Modi.**

**(b) Utilice matriz de costo mínimo y Modi.**

**(c) Utilice Vogel y Modi.**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | Oferta |**

**| | | | | | | |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|F1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 6 | 8 |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|F2 | 5 | 4 | 5 | 2 | 1 | 12 |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|F3 | 6 | 5 | 4 | 7 | 3 | 14 |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**| | | | | | | |**

**|Demanda| 4 | 4 | 6 | 8 | 8 | |**

**+-------+------+------+------+------+------+--------+**

**() Ejercicio 17.**

**Plantee el siguiente problema de transbordo.**

**Resuelvalo a mano o utilizando algún software.**

**Indique la solución que se tiene mediante un grafo.**

**Tabla 1:**

**Costos de envío de las fábricas a las bodegas.**

**+-------+------+------+------+--------+**

**| | W1 | W2 | W3 | Oferta |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**|F1 | 10 | 13 | 17 | 150 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**|F2 | 23 | 15 | 25 | 250 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**|Demanda| 100 | 250 | 50 | 400 |**

**+-------+------+------+------+--------+**

**Tabla 2:**

**Costos de envío de fábrica a fábrica.**

**+-------+------+------+**

**| | F1 | F2 |**

**+-------+------+------+**

**|F1 | 0 | 50 |**

**+-------+------+------+**

**|F2 | 25 | 0 |**

**+-------+------+------+**

**Tabla 3:**

**Costos de envío de bodega a bodega.**

**+-------+------+------+------+**

**| | W1 | W2 | W3 |**

**+-------+------+------+------+**

**|W1 | 0 | 13 | 11 |**

**+-------+------+------+------+**

**|W2 | 13 | 0 | 14 |**

**+-------+------+------+------+**

**|W3 | 11 | 14 | 0 |**

**+-------+------+------+------+**

**Tabla 4:**

**Costos de envío de bodega a fábrica.**

**+-------+------+------+**

**| | F1 | F3 |**

**+-------+------+------+**

**|W1 | 13 | 25 |**

**+-------+------+------+**

**|W2 | 35 | 23 |**

**+-------+------+------+**

**|W3 | 45 | 50 |**

**+-------+------+------+**