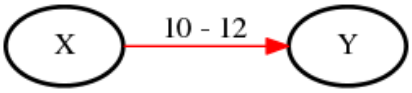
1 Plan de Vuelo

1.1 Problema a resolver

Se cuenta con una cantidad n, entero no negativo, de vuelos disponibles. Cada vuelo se realiza de una ciudad a otra, y para cada uno se conoce la hora de salida y la hora de llegada respectivamente. El objetivo del problema es que dadas dos ciudades por ejemplo: X (origen) e Y (destino). Se devuelva un itinerario con los vuelos necesarios para llegar desde origen a destino, siempre que sea posible. De esta manera el primer vuelo que realice el itinerario devuelto debe ser desde X, y el último debe tener como lugar de llegada a Y. Para efectuar este recorrido es posible tomar cualquier cantidad de vuelos intermedios cuya combinación me permita llegar a destino. Pero, siempre que entre los vuelos elegidos, el horario de llegada a una ciudad y el horario del próximo vuelo que se efectué desde la misma, haya como mínimo dos horas de diferencia (el horario de salida y de llegada es la cantidad de horas que faltan para realizar cada una de las acciones desde el momento en que se realiza la consulta). Se considerada solución óptima del problema a aquel itinerario que cumpla con lo descripto. Pero además, en el itinerario devuelto la llegada a destino se realice lo antes posible dee entre todos los itinerarios posibles que lleguen a Y partiendo desde X como primer vuelo.

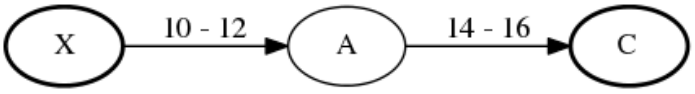
Ejemplo 1:
X Y 1
vuelos: 1) X Y 10 12



Ejemplo representado como digrafo donde cada nodo representa a una ciudad. La arista hacia donde parte el vuelo, desde la ciudad en la que me encuentro. Ademas en la misma se detalla la hora de salida y llegada. Con rojo se indican los vuelos que debo tomar para resolver el problema.

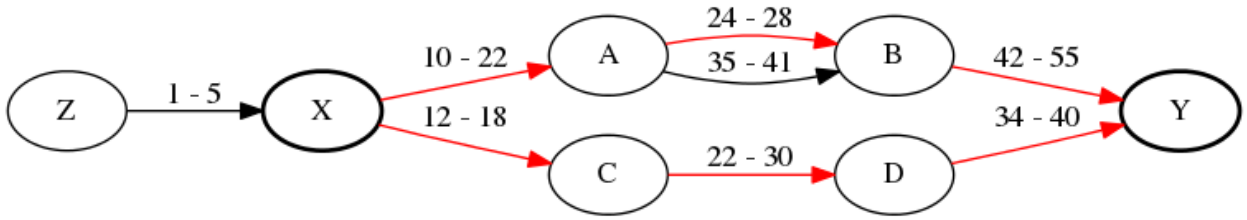
En este ejemplo se desea llegar de X a Y y se provee de un vuelo. El mismo se realiza desde la ciudad X partiendo a 10 horas de realizada la consulta y se llega a la ciudad Y dos horas después de la partida. En este caso tengo un vuelo disponible que me permite efectuar el recorrido deseado. Debido a que es el único, el problema no cuenta con ninguna otra solución posible, de esta manera la solución óptima es aquella que cuenta con el vuelo 1 y el horario de llegada se realiza a las 12hs de la consulta.

Ejemplo 2:
X Y 2
vuelos: 1) X A 10 12; 2) A C 14 16



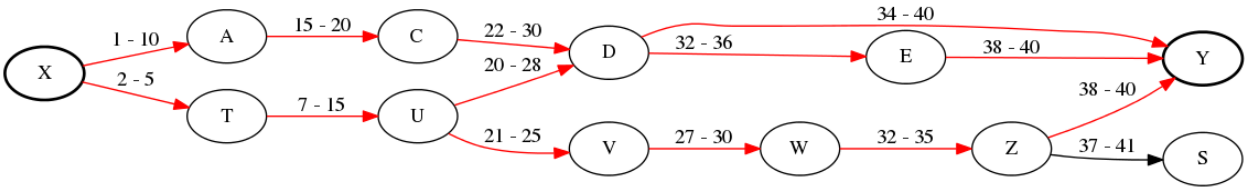
En este caso el objetivo es llegar de X a Y con los dos vuelos disponibles. El primero se realiza desde la ciudad X a la A . Luego, el otro parte desde A hasta C, el destino de este vuelo es la ciudad C. Como este fue el último de los disponibles, y no llegue a Y. No hay solución.

Ejemplo 3:
X Y 8
vuelos: 1) Z X 1 5; 2) X A 10 22; 3) A B 24 28; 4) A B 35 41; 5) B Y 42 55; 6) X C 12 18; 7) C D 22 30; 8) D Y 34 40



Para llegar a X desde Y existen dos posibles itinerarios. Uno de ellos es el que contiene a los vuelos numero 2, 3, 5 y 6 ya que el tomar los vuelos en este orden me permite llegar a destino. Y entre cada uno de los vuelos se cumple que entre el horario de llegada y salida desde la misma ciudad haya dos horas de diferencia. Y el otro itinerario posible, es el de los vuelos 6, 7, 8. Si bien ambas son soluciones, solo el ultimo itinerario es una solución óptima al problema. Ya que, la llegada a Y se realiza 15 horas antes que en el otro itinerario y recordemos que es solución óptima el conjunto de vuelos que llega antes a destino.

Ejemplo 4:
X Y 14
1) X A 1 10; 2) A C 15 20; 3) C D 22 30; 4) D Y 34 40; 5) D E 32 36; 6) E Y 38 40; 7) X T 1 5; 8) T U 7 15; 9) U V 21 25 ; 10) U D 20 28; 11) V W 27 30; 12) W Z 32 35; 13) Z S 37 41; 14) Z Y 38 40



Para este ejemplo contamos con un total de 13 vuelos. Y el objetivo es dar una solución óptima al problema de llegar desde X hasta Y. Una posible combinación de vuelos, y por lo tanto un itinerario factible, es el de los vuelos 1, 2, 3 y 4. Pero, no es el único, otro puede ser el de los vuelos 1, 2, 3, 5 y 6. También esta el que contiene a 7, 8, 9, 11, 12 y 14. y por ultimo el de los vuelos 7, 8, 10 y 4. En este caso tengo 4 itinerarios que cumple la necesidad de llegar a destino a partir de X. Edemas se puede observar que solo hay tres vuelos que llegan a destino el numero 5, 6, 14. Pero estos tres llegan a la misma hora. Entonces cualquiera de los 4 itinerarios es una solución óptima al problema.

1.2 Resolución

Como el objetivo del problema es ir de una ciudad *origen* a una ciudad *destino*, llegando a la misma en el menor tiempo posible y devolviendo los vuelos utilizados (se devuelven los vuelos enumerados por orden de aparición en la entrada). Teniendo una cantidad n, entero no negativo, de vuelos disponibles. Lo que se va a realizar en primera instancia es a cada ciudad distinta asignarle un numero entero (esto se realiza para mantener la complejidad deseada). De esta forma me van a quedar ciudades enumeras de 0 a 2*n-1, se enumeran según la posición que le toco (en el peor caso, si cada vuelos tiene ciudades distintas entonces tengo 2*n ciudades). Y se procede a tener un vector con todos los vuelos pero ahora reemplazando a las ciudad por el valor entero que le toco. Luego, se verificara que *destino* y *origen* existan entre los vuelos disponibles. Sino, no puedo partir o llegar desde las ciudades deseadas por lo que no habria solución. En caso contrario se ordenaran los vuelos de manera decreciente por *hora_de_llegada* y se creara un vector de listas *donde*, donde las posiciones del vector representaran a cada ciudad (ciudad mapeada a un entero) y las listas en cada una, la posición donde esta ciudad es un *lugar_de_salida* en *vuelos*. Tambien, un arreglo de

enteros, *vuelosdisponibles*, donde cada posición es una ciudad y su valor a los vuelos que hayan que partan desde dicha ciudad. Y finalmente un arreglo de bool *ya_lo_use* como cada vuelo puede ser numerado apartir de la posición que se encuentra en *vuelos* este arreglo me va a servir para informar si ya analice ese vuelo, por lo que inicialemente *ya_lo_use* tendra false en todas sus posiciones. Con estas estructuras auxiliares se va a proceder a ver si existe alguna combinación entre los vuelos que me permita cumplir con el objetivo. Primero, se verifica que haya vuelos disponibles para la ciudad *origen*, si es igual a cero entonces no hay. Por ende, no hay solución. Sino, se verificara por cada vuelo que parta desde la ciudad *origen* si tomando ese vuelo existe alguna combinación que me permita llegar a *destino* realizada la verificación, se procede a almacenar la posible solución en una lista, y se procede a realizar los mismo con el siguiente vuelo que parta desde *destino* hasta el último que haya. La verificación se realiza con la función *buscar_llegada*. La misma va a corroborar que si la ciudad de llegada del *vuelo_actual* es *destino* entonces llegue a donde quería y retorno como solución la hora de llegada y el número de vuelo, primera y segunda componente de una tupla respectivamente. Sino es así. Se verificara si existe un vuelo a partir de la ciudad de llegada de *vuelo_actual* que me permita llegar. Si la cantidad de vuelos disponibles para esta ciudad es cero. Entonces no llegue a destino, y ya no tengo mas vuelos para seguir, se devolverá como solución el valor -1 y una lista vacía. Si hay vuelos disponibles entonces se verificara si tomando los vuelos que salen desde esta ciudad de llegada puedo llegar a *destino*. Es decir, se llamara recursivamente a la función *buscar_llegada*. Pero, antes de llamar a esta función se verificara que haya una diferencia de dos horas entre la hora que llego a la ciudad y el próximo vuelo que parte de esta y que no se haya trabajado con este vuelo. Si hay varios vuelos que parten de una misma ciudad y cumplen con estas condiciones, se tendrán varias soluciones dependiendo del vuelo que tome. Entonces, a cada solución se la almacenara temporalmente en una lista y se va a decrementar la cantidad de vuelos disponibles para la ciudad de la que parti en uno. Y se denota como true a la posición de *ya_lo_use* para este vuelo. Cuando se terminen de recorrer todos los vuelos. Tendré una lista con posibles soluciones. Si en cada posible solución el valor de la primer componente es -1 significa que no llego a destino con esa combinación de vuelos. Si hay alguno que no lo es, a la lista que acompañe al menor valor se guarda la posición de vuelo actual y retorno esta tupla. Finalmente al analizar todos los vuelos que salgan desde *destino* (terminan las iteraciones del ciclo de *desde_origen*). Verifico que haya solución,si la hay devuelvo la de menor tiempo de llegada. Ahora es cuando se utiliza la segunda componente que contiene los números de vuelos que fueron necesarios para llegar a *destino*.

```
1: procedure DESDE_ORIGEN(vector < string > ciudades, vector < int > horarios, string origen,
   string destino)
2:     vector < string > mapeados ← devolver todas las ciudades sin repetirlas(ciudades)
3:     vector < vuelo > vuelos ← crear vuelos asignando a cada ciudad su posición en mapeados(mapeados, ciudades, hor
4:     if (no existe la ciudad origen o destino en mapeados) then
5:         No hay solución
6:     else
7:         vector < list < int >> donde ← posiciones_de_salida(vuelos)
8:         bool ya_lo_use[vuelos.size()]
9:         asignar a cada posicion de ya_lo_use false(ya_lo_use)
10:        int vuelos_disponibles[cantidad de ciudades distintas];
11:        for (i = 0; i < cantidad de ciudades distintas; i++) do
12:            vuelos_disponibles[vuelos[i].lugar_de_salida]++
13:        end for
14:        if (vuelos_disponibles[destino] == 0) then
15:            No hay solución
16:        else
17:            list < tupla < int, list < int >>> soluciones;
18:            list < int > vuelos_desde_destino ← donde[destino]
19:            for (iterador it ← vuelo_desde_destino.begin() to vuelo_desde_destino.end() do
20:                posible_solucion ← buscar_llegada(vuelos, vuelos_disponibles, vuelos[*it], *it, destino,
   donde, ya_lo_use)
21:                soluciones.Push_back(posible_solucion)
22:            end for
23:            if (no_hay_camino(soluciones)) then
```

```
24:                 no hay solucion
25:             else
26:                 return(minimo_camino(soluciones))
27:             end if
28:         end if
29:     end if
30: end procedure
```

```
1: procedure BUSCAR_LLEGADA(vector < vuelo > vuelos, int vuelos_disponibles[], vuelo vuelo_actual,
   int numero_de_vuelo, int destino, vector < list < int >> donde, bool ya_lo_use)
2:     tupla < int, list < int >> itinerario
3:     if (vuelo_actual.lugar_de_salida == destino) then
4:         list < int > camino
5:         return tupla < vuelo_actual.hora_de_llegada, camino.push_back(numero_de_vuelo) >
6:     else
7:         if (vuelos_disponibles[vuelo_actual.lugar_de_llegada] !=0) then
8:             list < tupla < int, list < int >>> soluciones;
9:             list < int > vuelos_desde_nuevo_destino ← donde[vuelo_actual.lugar_de_llegada]
10:            for (iterador it vuelos_desde_nuevo_destino.begin() to vuelos_desde_nuevo_destino.end() ) do
11:                if (vuelos[*it].hora_salida - vuelo_actual.hora_llegada >= 2 && !ya_lo_use[∗it]) then
12:                    posible_solucion ← buscar_llegada
13:                    soluciones.Push_back(posible_solucion)
14:                    vuelos_disponibles[vuelo_actual.lugar_de_salida]−;
15:                    ya_lo_use[*it]= true
16:                end if
17:            end for
18:            if (no_hay_camino(soluciones)) then
19:                itinerario.fisrt = -1
20:            else
21:                itinerario = minimo_camino(soluciones)
22:                itinerario.second.push_back(numero_de_vuelo);
23:            end if
24:        else
25:            itinerario.first = -1
26:        end if
27:        return itinerario
28:    end if
29: end procedure
```

1.3 Análisis de complejidad temporal:

Para calcular la complejidad total vamos a analizar por partes nuestro algoritmo.
1) La funcion principal *desde_origen* recibe dos vectores. Uno de ellos de string que representa a las ciudades, *ciudades* y otro las hora de salida y llegada *horarios*. Como ya se menciono, cada ciudad distinta sera mapeada a un valor entero. Para esto se procede a crear una lista con las ciudades, de manera que en esta no haya ciudades repetidas. Entonces, tendre a lo sumo 2*n ciudades y según la posición que ocupe cada ciudad sera el numero que se le asignara. El costo de esto, fue crear la lista con las ciudades sin repetidos, O(2*n) tamaño de la lista. Más verificar no introducir una ciudad repetida para esto, si estoy recorriendo la posición i-esima de *ciudades*, 1<= i < n, me fijo si a esta i-esima ciudad no la analice antes, es decir desde la posición 0 a i-1.
$\sum_{i=0}^{2*n} i = O(n^2)$
2) Teniendo un valor entero que representa a cada ciudad se construye el vector *vuelos* del tipo vuelo. A medida que se recorre el vector de ciudades y de horarios, avanzo de a par, la primer posición de este par en *ciudades* es el *lugar_de_salida*, y el segunda el *lugar_de_llegada* mientras que en el otro vector representa *horario_de_salida*, *horario_de_llegada* respectivamente todo para un mismo vuelo. Pero antes de construir el vuelo las ciudades en cuestión deben ser con su asignacion al valor entero. Para esto se debe buscar en

mapeados la posición que ocupa la ciudad. Complejidad: O(2*n) + O(2*n) que buscar por cada ciudad, de origen y de llegada, el valor entero que tiene asignado, siendo el tamaño de mapeados a lo sumo 2*n. Y esto se realiza para todas las ciudades 0(2*n*(O(2*n) + O(2*n))) = O(n^2).
3) Verificar si existen las ciudades *destino* y *origen*. Complejidad: O(2*n).O(1) Recorrer mapeado por el costo de verificar si las ciudades existen, comparar string.
4) Crear el vector de listas de int *donde*, mediante el uso de la funcion auxiliar *posiciones_en_vuelo*. Se recorre el vector *vuelos* y por cada vuelo a donde[*lugar_de_salida*], se le guarda la posición de este vuelo en *vuelos*, es decir si estamos en la i-esima iteracion del vector vuelos, 0<= i < n. se guarda el valor i (recordemos que ahora los vuelos son del tipo entero de 0 a 2*n-1, en el peor caso, por lo que cada cada valor se asocia a una posición). Complejidad : O(n).O(1) (recorrer el vector vuelos por lo que cuesta guardar las posiciones que son push_back en cada lista.)
5) Crear el arreglo *ya_lo_use* que tiene el mismo tamaño que la cantidad de vuelos disponibles. Y a cada posición hay que asignarle el valor false: O(n) en total
6) Construir el vector *vuelos_disponibles*, el mismo es de tamaño de *mapeados* ya que por cada ciudad quiero indicar la cantidad de vuelos que salgan desde esta ciudad. Por lo que la resolución es similar al item 5). se recorre *vuelos* pero ahora en vez de guardarme la posición incremento en uno el valor de la posición (inicialmente todas estan en cero) que represente el lugar_de_salida. Complejidad O(n) (recorrer vuelos e incrementar el valor O(1)).
7) verificar que haya vuelos disponibles desde destino, O(1) me fijo si el tamaño de la lista para *donde*[*destino*] es == 0. Se utiliza la instrucción *empty*() provista por la stl.
8) Verificar si hay alguna combinacion de vuelos que me permita llegar a destino. Como se hace uso de una funcion recursiva, *buscar_llegada*. Primero vamos a analizar la complejidad de lo que se realiza en cada llamada.
8.a) *buscar_llegada* devuelve una *tupla* < $int, list < int >>$ *itinerario*, la primer componente tendra el horario de llegada si es que hay un camino hacia *destino* y la segunda el numero de los vuelos que me permiten llegar. En caso contrario solo tendrá el valor -1. Si llegué a *destino*, a la primer componente se le asigna el horario de llegada del vuelo actual O(1), se crea la lista que va a tener a los números de vuelo y se pushea *numero_de_vuelo* O(1).
8.b) Si no se llego a *destino*, y la cantidad de vuelos disponibles para la ciudad de llegada de *vuelo_actual* es distinta de cero. Entonces, significa que existen vuelos que parten desde esta ciudad. Se evaluaran los mismos haciendo tantas llamadas a la funcion *buscar_llegada* como vuelos hayan (los que salgan desde esta ciudad). Los mismos se conocen por *donde*, solo basta buscar a este vuelo en la estructura. Usando *donde*[*vuelo_actual.lugar_de_salida*] ya los tengo (este es el principal de uso de tener mapeadas las ciudades a un valor entero, puedo obtener esta información en O(1)). Al ya tener los vuelos que debo analizar se procede a realizar un for que verifique con cada uno de estos si puedo llegar a *destino*. Luego de cada llamada se guardara la posible solución en una lista provisoria (luego se realizara un análisis del costo de guardar estas posibles soluciones). La verificación con los mismos se realizara si cumplen dos condiciones. La primera es la diferencia de horario (requisito necesario por el problema) 0(1). La segunda es que, ya no se haya analizado este vuelo porque si se analizo entonces estaría repiento la busqueda que ya analice y es necesario para nuestra complejidad que los vuelos solo se analicen una sola vez O(1) basta ver si *ya_lo_use*[*numero_de_vuelo*] es igual a false. Cuando los vuelos se analizan se disminuye la cantidad de vuelos disponibles de la ciudad de llegada del *vueloactual* O(1). Y a *ya_lo_use*[*numero_de_vuelo*] se le asigno true para que si otra combinacion de vuelos hace uso de este, ya se sabe que se analizo y no tener que calcular nuevamente lo mismo. Para poder cumplir con que los vuelos se analicen una sola vez es que se tiene el vector *ya_lo_use* y *vuelos_disponibles*. si un vuelo t cumple con la condición sobre la diferencia horaria voy a poder analizar todos los vuelos que salgan de esta ciudad y la cantidad de vuelos disponibles para la posición t.*lugar_de_llegada* va a ser igual a cero. Por lo que si hay otros vuelos que luego utilicen a t como vuelo escala, al verificar si hay vuelos disponibles tendran que no, (que es igual a cero). De esta forma me aseguro de no realizar análisis repetido. Ahora bien, puede que el vuelo que este analizando no cumpla con la diferencia horaria para todos los vuelos pero si para algunos, es por eso que ádemas se cuenta con *ya_lo_use*. Para los vuelos que se puedan verificar entonces se los verificará y se tendrá marcado que ya los revisaron así los posterior vuelos no necesitan volver a revisar estos sino, aquellos que en su momento no se pudieron hacer por no cumplir la diferencia horaria. Luego, de tener para la instancia de vuelo t todas las posibles soluciones se procede a verificar si hay solución y si la hay, cual es. Para esto primero se verifica que todas las posibles soluciones no tengan el valor -1 en su primer componente. Si es asi entonces no hay solucion y se devuelve la tupla creada al principio *itinerario*

con el valor -1 en su primer componente. En caso de que la haya se recorre todas las soluciones y se devuelve el menor valor distinto de -1. Ambas funciones son lineales en la cantidad de posibles soluciones, y esta cantidad es igual a los vuelos que parten desde t.lugar_de_llegada. La cantidad de posibles vuelos que partan desde una misma ciudad, para todos los n vuelos, es igual a n, ya que son todos los vuelos que existen. Como se analizan por cada iteración del ciclo de *desde_origen* a lo sumo una vez cada vuelo y luego si se necesita de un vuelo que ya fue analizado con ver la cantidad de vuelos disponibles, o ya_fue_usado basta, en el peor de los casos averiguar si ya fue usado se lo voy a preguntar a todos los vuelos O(n), pero esto ocurre por cada iteración de *desde_origen*. En el peor de los casos si son c los vuelos desde *destino* entonces seria c.O(n) acotando c por n tenemos O(n^2).
8.c)Finalmente analizamos la complejidad de guadar las posibles soluciones. Al guardar esto, si bien se utiliza la funcion push_back() en la lista provisoria. Se esta guardando una tupla que posee una lista con los vuelos usados para llegar a *destino*. Si es que hay camino sino, solo una tupla con una lista vacia y esto se hace en O(1). En el otro caso es lineal a la cantidad de elementos en la lista. Entonces como cada vuelo se analiza a lo sumo sola vez, en todas las iteraciones estaremos realizando copias con valores distintos. No podria haber como solución un vuelo que este tambien como solucion para otro camino ya que cuando se lo analizó por primera vez se puso que ya fue usado este vuelo en *ya_lo_use* y en este caso nuestro algoritmo plantea que no hay solución porque ya se analizo el mismo y ya se conoce su resultado . Entonces, si al finalizar todas las iteraciones de *desde_origen* se tienen k posibles soluciones, (k igual a los vuelos disponibles desde *destino*). Significa que tengo k listas que fueron copiadas tantas veces como vuelos se necesitaron para llegar a *destino*. Suponemos el peor caso, que todos los vuelos llegan a destino entonces la suma de las longitudes de esas listas es n, (por lo argumentado anteriormente no se utilizan vuelos que hayan en otras soluciones). Entonces, si pensamos ahora todo como una sola lista y suponemos que fue copiada tantas veces como la máxima vez que fue copiada algunas de las k listas. Y sabemos que las listas se copiaron a lo sumo n veces porque se van insertando de a uno cada nuevo *numero_de_vuelo* tenemos que la complejidad de todas las copias son:
$\sum_{i=0}^{2*n} i = O(n^2)$
cada vez que voy a agregar un nuevo número de vuelo copio todos los anteriores
8.d)Finalizadas todas las llamadas a la función recursiva, se procede a verificar cual de las k soluciones es la correcta, utilizando nuevamente si existe solución y cual es. Ambas lineales en la cantidad de posibles soluciones O(k), acotando k por n tenemos O(n)
juntando las complejidades de los casos 1-8 tenemos que la complejidad total es:
$O(n^2) + O(n^2) + O(2*n) + O(2*n) + O(n) + O(2*n) + O(1) + O(1) + O(n^2) + O(n^2) + O(n) = O(4*n^2) + O(2*n) + O(2) + (3*2*n) = O(n^2) = O(n^2)$

1.4 Recursos utilizados:

- Crear una lista vacía tiene complejidad constante
(http://en.cppreference.com/w/cpp/container/list/list caso 1)
- AgregarAtras a una lista tiene complejidad constante
(http://en.cppreference.com/w/cpp/container/list/push_back)
- Asignar, incrementar y comparar enteros tiene complejidad constante
- Preguntar si una lista es vacía tiene complejidad constante
(http://en.cppreference.com/w/cpp/container/list/empty)
- Pedir el iterador al inicio de una lista y al final tienen complejidad constante
(http://en.cppreference.com/w/cpp/container/list/begin, http://en.cppreference.com/w/cpp/container/list/end).
Avanzarlos y crearlos también ya que son punteros a nodos de la lista.
- Asignar a una lista $l1$, otra lista $l2$ tiene complejidad lineal a $|l2|$
(http://en.cppreference.com/w/cpp/container/list/operator%3D)

1.5 Experimentación:

En la sección análisis de la complejidad se demostró que la complejidad del problema es $O(n^2)$. Para verificar esto en la practica, se procedió a calcular la perfomance de nuestro algoritmo, en milisegundos, a partir del

tiempo que tarda en resolver distintas instancias del problema. El mismo se ejecutó para una cantidad que va desde un vuelo a quinientos y se repitió este procedimiento 5 veces. Se realizaron un total de 3 gráficos. El primero *gráfico 1* representa el tiempo que tardo en ejecutarse para las instancias mencionadas representando en el mismo el tiempo máximo, mínimo y promedio. En el *gráfico 2*, a los tiempos calculados en el primero se los dividió por la cantidad de vuelos según la instancia que se representaba también con tiempo mínimo, máximo y promedio. Finalmente el *gráfico 3* refleja el tiempo que tardo dividido *cantidad de vuelos*^{2}, al igual que en los anteriores con tiempo máximo, mínimo y promedio.

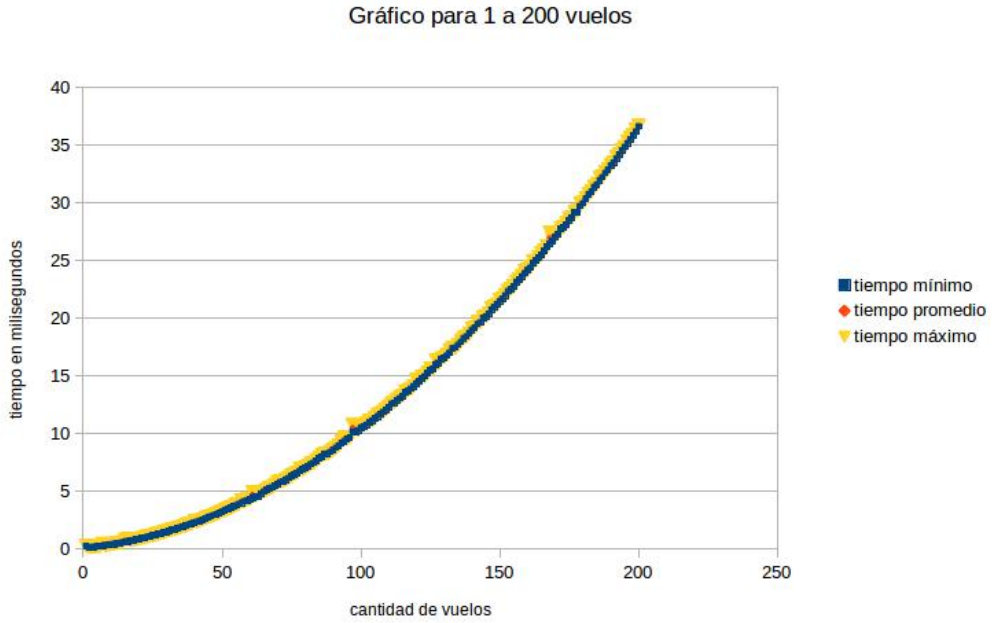


gráfico 1: Se puede observar como el tiempo máximo sobresale muy levemente sobre el mínimo superponiéndose al promedio.Se puede observar que los mismos generan una curva.Para confirmar que tiene un comportamiento cuadrático se divide por la cantidad de vuelos. Por lo que el nuevo gráfico deberia representar una recta.

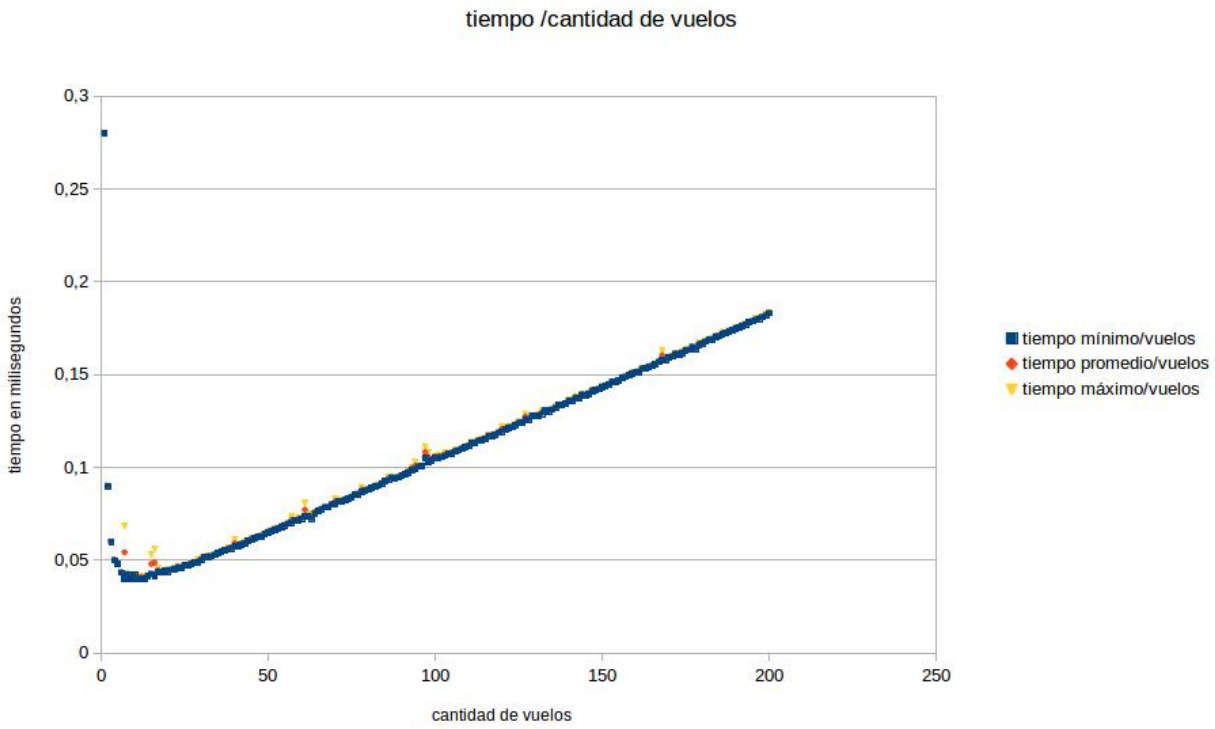


gráfico 2: Al dividir los tiempos por la cantidad de vuelos se oberva que para los tiempos observables que son el mínimo y el máximo, mientras que el promedio se encuentra tapados por estos. Los mismos generan una recta. Si bien, al principio se observan algunos picos a medida que la cantidad de vuelos aumenta estos valores no difieren mucho entre si generando una recta casi sin valores que sobresalgan de la misma.

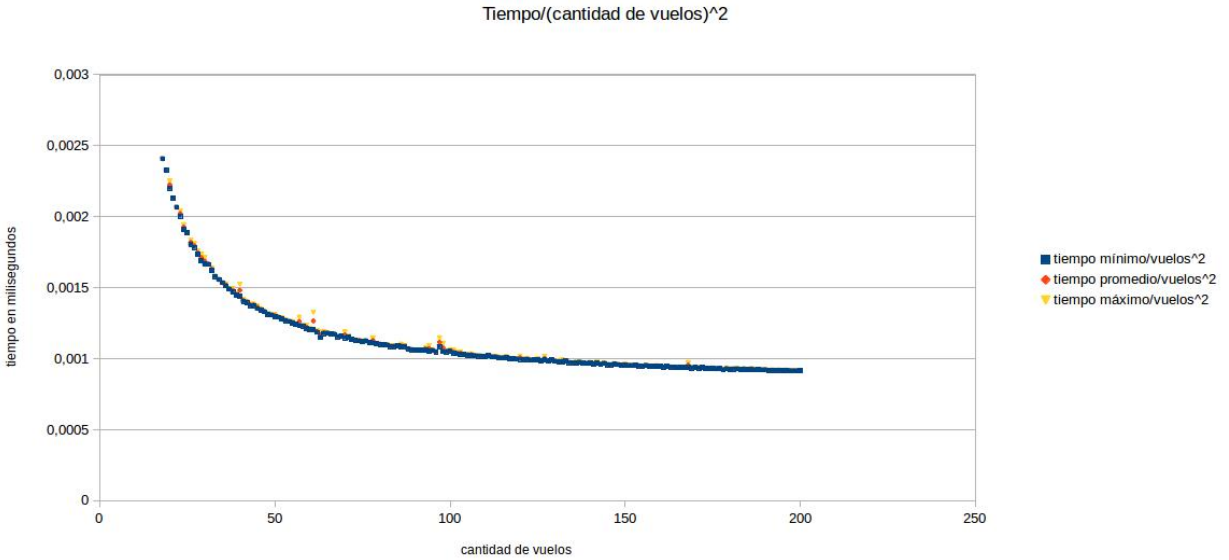


gráfico 3: Finalmente para corroborar que la complejidad es n^2, siendo n la cantidad de vuelos, a los tiempos se lo dividido por n^2, de esta forma el gráfico debería quedar una constante. En el mismo se puede observar que para los primero valores se asemeja a una curva ya que los valores empiezan a decrecer rápidamente. Pero, a medida que la cantidad de vuelos aumentan los valores empiezan a disminuir lentamente y empezando a converger a un solo valor a medida que estos crecen. Es decir, a una constante que era el comportamiento que deseábamos.