

Informe tercera entrega del TP (Santiago Ruiz Mazzocato - 105915)

En esta sección se desarrollarán cada uno de los pasos indicados para la tercera entrega del TP.

Paso 1

Al correr mi heurística sobre este tercer problema, obtuve el siguiente output:

```
$ time ./ejecutar.sh tercer
Lavado 1 -> Tiempo: 20
Lavado 2 -> Tiempo: 19
Lavado 3 -> Tiempo: 14
Lavado 4 -> Tiempo: 13
Lavado 5 -> Tiempo: 12
Lavado 6 -> Tiempo: 11
Lavado 7 -> Tiempo: 9
Lavado 8 -> Tiempo: 9
Lavado 9 -> Tiempo: 8
Lavado 10 -> Tiempo: 5
Lavado 11 -> Tiempo: 3
Tiempo total de lavado: 123
Cantidad total de lavados: 11

real    0m0,023s
user    0m0,017s
sys     0m0,006s
```

Como podemos ver la ejecución del script tardó 0.023s y arrojó un tiempo total de lavado de todas las prendas de 123 (sumatoria de los tiempos de cada lavado formado). Y la cantidad total de lavados armados fue de 11.

Paso 2

Se corre el modelo de la materia en CPLEX. Luego de 10 minutos de ejecución podemos ver que el header del output de la sección Engine Log mostró lo siguiente:

```
1 Version identifier: 22.1.1.0 | 2022-11-28 | 9160aff4d
2 Legacy callback                                     pi
3 Tried aggregator 1 time.
4 MIP Presolve eliminated 120467 rows and 0 columns.
5 MIP Presolve modified 12013 coefficients.
6 Reduced MIP has 34783 rows, 19182 columns, and 121915 nonzeros.
7 Reduced MIP has 19044 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
8 Presolve time = 0,51 sec. (253,66 ticks)
9 Found incumbent of value 2760,000000 after 0,72 sec. (403,01 ticks)
10 Probing time = 0,15 sec. (12,13 ticks)
```

```
11 Tried aggregator 1 time.
12 Detecting symmetries...
13 Reduced MIP has 34783 rows, 19182 columns, and 121915 nonzeros.
14 Reduced MIP has 19044 binaries, 138 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
15 Presolve time = 0,60 sec. (391,75 ticks)
16 Probing time = 0,09 sec. (11,35 ticks)
17 Clique table members: 15739.
18 MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
19 MIP search method: dynamic search.
20 Parallel mode: deterministic, using up to 8 threads.
21 Root relaxation solution time = 1,43 sec. (475,39 ticks)
```

Por lo que puedo entender, CPLEX hace un paso de pre-resolución del problema en el que reduce su tamaño. Esto se puede intuir por la línea 4 del output, donde indica que eliminó 120467 filas (entiendo que representan las restricciones del modelo). Se puede ver también que para encontrar la solución, CPLEX busca un balance entre optimalidad y compatibilidad (línea 18). Aparentemente el método de búsqueda de la solución es "dynamic search" (línea 19). Y finalmente se puede notar que CPLEX intenta paralelizar la resolución mediante el uso de hasta 8 threads de ejecución (línea 20).

Ahora miramos el resto del output de Engine Log:

Nodes			Objective	IInf	Best Integer	Cuts/		ItCnt
Node	Left	Best				Bound		
Gap								
*	0+	0			2760,0000		0,0000	
100,00%								
*	0+	0			1467,0000		0,0000	
100,00%								
*	0+	0			171,0000		0,0000	
100,00%								
	0	0	20,0000	4286	171,0000	20,0000		11
88,30%								
*	0+	0			161,0000	20,0000		
87,58%								
	0	0	20,0000	1567	161,0000	Cuts: 181		6970
87,58%								
	0	0	20,0000	2225	161,0000	Cuts: 1498		17262
87,58%								
	0	0	20,0000	1187	161,0000	Cuts: 58		19066
87,58%								
*	0+	0			143,0000	20,0000		
86,01%								
*	0+	0			136,0000	20,0000		
85,29%								
	0	0	-1,000000e+75	0	136,0000	20,0000		19066
85,29%								
	0	0	20,0000	1803	136,0000	Cuts: 1091		29019
85,29%								
	0	2	20,0000	944	136,0000	20,0000		29019
85,29%								

```
Elapsed time = 114,63 sec. (69300,89 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 6)
  1      3      37,0000  1063      136,0000      20,0000      35579
85,29%

      .
      .
      .

  1823  1244      78,0000   705      119,0000      37,0000  3329312
68,91%
  1841  1287      117,0000   230      119,0000      37,0000  3473375
68,91%
Elapsed time = 611,03 sec. (157482,84 ticks, tree = 16,90 MB, solutions =
26)
  1857  1279      100,1215   608      119,0000      37,0000  3446000
68,91%
```

De acuerdo a la documentación de CPLEX ("If no solution has been found, the column titled Best Integer is blank; otherwise, it records the objective value of the best integer solution found so far"), en la columna Best Integer estamos viendo cómo evoluciona el funcional de la mejor solución entera hasta el momento (el menor tiempo total de lavado). Comienza con un valor de 2760 y rápidamente ya se pone en el orden de los 100. Cada cierto tiempo también se logea el tamaño en MB que ocupa el árbol de soluciones para el modelo y cuántas soluciones se han encontrado hasta ahora (las líneas que comienzan con "Elapsed time = ..."). Luego de unos 10 minutos aproximadamente corté la ejecución y se puede ver que el mejor valor del funcional (solución entera) que pudo encontrar hasta el momento fue de 119. Que traducido al problema de las prendas significa que el menor tiempo total de lavado de prendas encontrado fue 119. Si nos fijamos en la columna Gap, se nos muestra que la mejor solución encontrada es en el peor de los casos un 68.91% más alta que el óptimo real (lo cual es bastante malo).

Ahora miramos la sección Statistics:

Statistic	Value
▼ Cplex	
▼ MIP	
Objective	37
Incumbent	119
Nodes	1886
Remaining nodes	1371
Iterations	3717537

Podemos ver lo que mencionamos antes, el Incumbent (el valor del funcional para la mejor solución entera encontrada) es de 119. El total de iteraciones realizadas es altísima, como podemos ver llega a 3717537.

Y finalmente en la sección Profiler:

Description	Time	Time %	Peak Memory	Peak Memory %	Self Time	Self Time %	Local Memory	Local Memory %	Count	Nodes
▼ ROOT	625.4707	100%	283.362 M	100%	0.0591	0%	4.082 M	1%	1	63
READ_DEFINITION WVCP	0.0000	0%	0 B	0%	0.0000	0%	256 B	0%	1	1
▶ LOAD_MODEL Ejecucion-0x7f0580074908	0.0297	0%	2.535 M	1%	0.0016	0%	2.177 M	1%	1	15
▼ EXECUTE main	625.3819	100%	283.362 M	100%	0.0350	0%	1.836 M	1%	1	46
READ_DEFINITION WVCP	0.0001	0%	0 B	0%	0.0001	0%	360 B	0%	1	1
▶ LOAD_MODEL WVCP-0x7f05803d83d8	0.0128	0%	2.45 M	1%	0.0007	0%	210.562 K	0%	1	15
▶ EXTRACT WVCP-0x7f05803d83d8	2.5735	0%	43.381 M	15%	1.3396	0%	1.624 M	1%	1	6
▼ CPLEX MIP Optimization	622.7605	100%	283.362 M	100%	1.8901	0%	120.402 M	42%	1	23
CPLEX Pre Solve	0.5146	0%	8.567 M	3%	0.5146	0%	8.567 M	3%	1	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0297	0%	23.185 M	8%	0.0193	0%	23.185 M	8%	1	2
CPLEX Probing	0.1509	0%	15.923 M	6%	0.1509	0%	16.363 M	6%	1	1
CPLEX Pre Solve	0.6048	0%	7.711 M	3%	0.6048	0%	7.711 M	3%	1	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1	1
▶ CPLEX Generating Cuts for Root Node	96.3027	15%	119.892 M	42%	19.7227	3%	76.929 M	27%	1	9
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1	1
▶ CPLEX Heuristics	14.8025	2%	0 B	0%	0.0407	0%	2.907 M	1%	1	3
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0002	0%	0 B	0%	0.0002	0%	0 B	0%	1	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	0 B	0%	1	1
CPLEX Branch and Bound	508.4640	81%	0 B	0%	508.4640	81%	30.776 M	11%	1	1

Se observa que el tiempo total de la ejecución fue de 625.47 segundos. Prácticamente no tarda nada en cargar el modelo y todo el tiempo lo consume la propia resolución. Lo interesante está en las tareas que hace dentro de la optimización. Comienza con una pre-resolución del modelo como comenté antes. Luego realiza varias relajaciones (entiendo que es para poder resolver el problema primero como uno de programación lineal continua). Hay un momento que realiza "cortes" al nodo raíz (que entiendo que sería el modelo original del problema), esto consume un 15% del total del tiempo de ejecución. También se aplican heurísticas, aunque no se especifiquen cuáles. Y por último vemos que utiliza la técnica de branch & bound para intentar resolver exactamente el problema. Aquí es con lo que se consume el 81% del tiempo total de la ejecución.

Paso 3

Se ejecutó el modelo de la materia con un pequeño cambio, se limitó el número de lavados máximos a 15 (int limiteColores = 15, en el script), como dice el enunciado. Luego de haberlo dejado corriendo por más de 10 minutos, lo aborté y los últimos resultados en Engine Log mostraron:

127297	48521	114,0000	307	117,0000	106,0000	13435641
9,40%						
Elapsed time = 689,18 sec. (303437,20 ticks, tree = 1578,41 MB, solutions = 14)						
128172	49054	114,0000	425	117,0000	106,0000	13532371
9,40%						
129274	49980	107,1429	379	117,0000	106,0000	13682493
9,40%						
130350	50638	110,8889	359	117,0000	106,0000	13786128
9,40%						
131395	51830	110,8140	398	117,0000	106,0000	13962982
9,40%						
132099	52558	109,8947	474	117,0000	106,0000	14106077
9,40%						
133121	52939	112,6260	303	117,0000	106,0000	14171125
9,40%						
134007	53704	109,0000	343	117,0000	106,0000	14306802
9,40%						

Como vemos luego de correr durante 689.18 segundos el menor tiempo total de lavado (Best Integer) fue de 117, habiendo realizado más de 14 millones de iteraciones. Viendo el resultado de la columna Gap

podemos darnos cuenta que gracias a este límite de lavados (o colores) que impusimos, CPLEX pudo llegar a una solución entera mejor que la anterior en más o menos el mismo tiempo (sabiendo que ninguna de las dos ejecuciones terminaron por sí solas). Lo interesante es que aunque la mejor solución entera encontrada haya mejorado solamente en 2, comparando con la del paso 2, la columna Gap nos dice que ahora está mucho más cerca del óptimo real que antes.

Ahora si miramos el principio de la ejecución notamos lo siguiente:

Nodes		Objective	IInf	Best Integer	Cuts/ Best Bound		ItCnt
Node	Left						
Gap							
* 0+	0			300,0000	0,0000		
100,00%							
* 0+	0			171,0000	0,0000		
100,00%							
0	0	20,0000	1078	171,0000	20,0000		1897
88,30%							
* 0+	0			162,0000	20,0000		
87,65%							
0	0	20,0000	1176	162,0000	Cuts: 386		2954
87,65%							
0	0	21,8697	964	162,0000	Cuts: 524		6105
86,50%							
0	0	23,2807	1000	162,0000	Cuts: 824		8583
85,63%							
* 0+	0			161,0000	23,2807		
85,54%							
* 0+	0			159,0000	23,2807		
85,36%							
0	0	-1,000000e+75	0	159,0000	23,2807		8583
85,36%							
0	0	23,8149	956	159,0000	Cuts: 764		11016
85,02%							
0	0	24,5334	862	159,0000	Cuts: 677		12941
84,57%							
0	0	24,7772	934	159,0000	Cuts: 658		13870
84,42%							
* 0+	0			158,0000	24,7772		
84,32%							
0	0	25,0639	1060	158,0000	Cuts: 642		15044
84,14%							
* 0+	0			152,0000	25,0639		
83,51%							
* 0+	0			149,0000	25,0639		
83,18%							
* 0+	0			142,0000	25,0639		
82,35%							
* 0+	0			140,0000	25,0639		
82,10%							
0	0	-1,000000e+75	0	140,0000	25,0639		15044
82,10%							

0	0	25,3824	1005	140,0000	Cuts: 612	15948
81,87%						
* 0+	0			133,0000	25,3824	
80,92%						
0	0	25,5203	1090	133,0000	Cuts: 545	16822
80,81%						
0	0	25,6527	1058	133,0000	Cuts: 441	17352
80,71%						
* 0+	0			130,0000	25,6527	
80,27%						
0	0	-1,000000e+75	0	130,0000	25,6527	17352
80,27%						
0	0	25,7504	1035	130,0000	Cuts: 492	18010
80,19%						
* 0+	0			120,0000	25,7504	
78,54%						
0	0	25,8975	950	120,0000	Cuts: 517	18760
78,42%						
0	0	25,9378	955	120,0000	Cuts: 430	19432
78,39%						
0	0	25,9804	1003	120,0000	Cuts: 459	20117
78,35%						
0	0	26,0081	973	120,0000	Cuts: 470	20810
78,33%						
0	0	26,0597	929	120,0000	Cuts: 404	21559
78,28%						
0	0	26,1165	922	120,0000	Cuts: 463	21973
78,24%						
0	0	26,1676	1020	120,0000	Cuts: 316	22587
78,19%						
0	0	26,7090	949	120,0000	Cuts: 316	24569
77,74%						
0	0	27,4955	891	120,0000	Cuts: 568	25721
77,09%						
0	0	28,1667	815	120,0000	Cuts: 595	26882
76,53%						
0	0	28,4914	767	120,0000	Cuts: 485	27619
76,26%						
0	0	28,5679	828	120,0000	Cuts: 440	28096
76,19%						
0	0	28,6490	836	120,0000	Cuts: 390	28630
76,13%						
0	0	28,7736	824	120,0000	Cuts: 428	29108
76,02%						
0	0	28,8233	839	120,0000	Cuts: 359	29559
75,98%						
0	0	28,8922	854	120,0000	Cuts: 272	29871
75,92%						
0	0	28,9014	818	120,0000	Cuts: 373	30213
75,92%						
0	0	28,9117	821	120,0000	Cuts: 228	30457
75,91%						
0	0	28,9190	833	120,0000	Cuts: 213	30706
75,90%						

*	0+	0			117,0000	28,9190	
75,28%							
	0	2	28,9190	772	117,0000	38,0000	30706
67,52%							
Elapsed time = 12,47 sec. (6305,57 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 14)							
	2	4	51,0000	559	117,0000	38,0000	32744
67,52%							

Con tan solo los primeros 12 segundos de ejecución ya había llegado al menor valor del funcional de 117, con un total de 32744 iteraciones. Esto, en parte, se puede explicar porque ya la primera mejor solución entera encontrada fue de 300, muchísimo mejor que la del paso 2 (que era 2760). Sin embargo el Gap era de 67.52% (entiendo que porque en comparación con los resultados de 10 minutos más tarde, acá no había recorrido tantas soluciones posibles y determinado tantas cotas superiores como lo hace después).

Además de esto, durante los 10 minutos de ejecución CPLEX hizo varios reinicios, siendo el primero a los 44 segundos aproximadamente:

Performing restart 1							
Repeating presolve.							
Tried aggregator 1 time.							
MIP Presolve eliminated 124 rows and 60 columns.							
Reduced MIP has 3821 rows, 2025 columns, and 13232 nonzeros.							
Reduced MIP has 2010 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.							
Presolve time = 0,03 sec. (15,58 ticks)							
Tried aggregator 1 time.							
Reduced MIP has 3821 rows, 2025 columns, and 13232 nonzeros.							
Reduced MIP has 2010 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.							
Presolve time = 0,02 sec. (12,70 ticks)							
Represolve time = 0,17 sec. (62,37 ticks)							
	3460	0	38,6525	704	117,0000	Cuts: 502	841298
62,53%							
	3460	0	39,2241	748	117,0000	Cuts: 690	842921
62,53%							
	3460	0	40,3638	772	117,0000	Cuts: 715	845710
62,53%							

Además de estas particularidades, si nos fijamos en el header del output de Engine Log:

Version identifier: 22.1.1.0 2022-11-28 9160aff4d	
Legacy callback	pi
Tried aggregator 1 time.	
MIP Presolve eliminated 13053 rows and 0 columns.	
MIP Presolve modified 1347 coefficients.	
Reduced MIP has 3945 rows, 2085 columns, and 13532 nonzeros.	
Reduced MIP has 2070 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.	
Presolve time = 0,03 sec. (23,27 ticks)	
Found incumbent of value 300,000000 after 0,06 sec. (37,25 ticks)	
Probing time = 0,02 sec. (4,04 ticks)	

```
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 3945 rows, 2085 columns, and 13532 nonzeros.
Reduced MIP has 2070 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,01 sec. (12,94 ticks)
Probing time = 0,04 sec. (4,04 ticks)
Clique table members: 1875.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 8 threads.
Root relaxation solution time = 0,17 sec. (155,55 ticks)
```

Con esto podemos ratificar que el modelo es mucho más pequeño que aquel sin la limitación de 15 lavados. Nos damos cuenta de esto con la cantidad de filas eliminadas por el presolver y también por la cantidad de filas resultantes para el problema reducido (3945 filas).

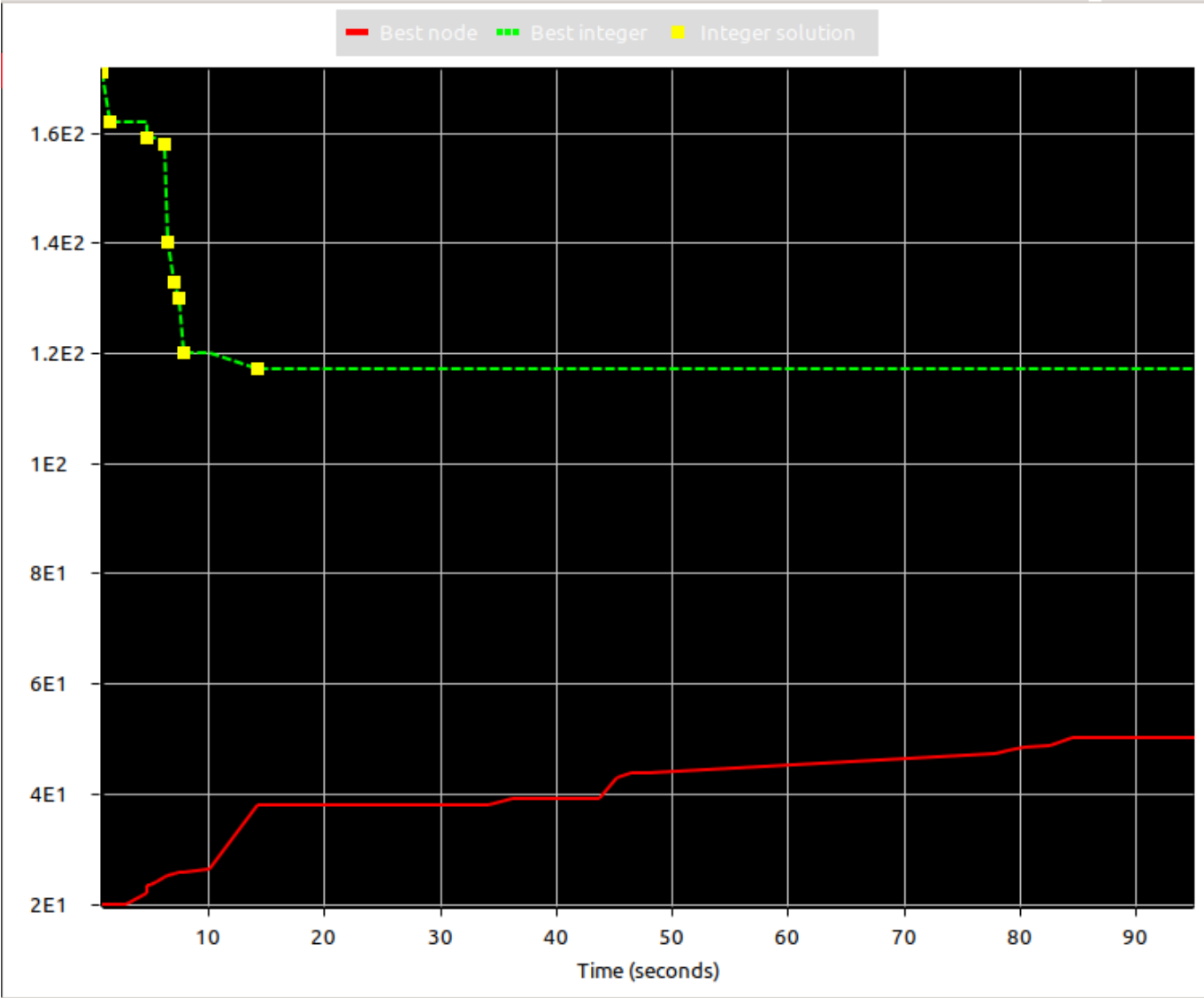
En cuanto al output del Profiler vemos lo siguiente:

▼ CPLEX MIP Optimization	756.0613	100%	1.84 G	100%	1.6130	0%	1.839 G	100%	1
CPLEX Pre Solve	0.0348	0%	964.188 K	0%	0.0348	0%	964.188 K	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0045	0%	2.775 M	0%	0.0034	0%	2.775 M	0%	1
CPLEX Probing	0.0179	0%	1.914 M	0%	0.0179	0%	1.962 M	0%	1
CPLEX Pre Solve	0.0144	0%	824.578 K	0%	0.0144	0%	825.891 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0001	0%	0 B	0%	0.0001	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Generating Cuts for Root N	10.8775	1%	64.346 M	3%	2.9266	0%	60.872 M	3%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	-762.844 K	-0%	1
▶ CPLEX Heuristics	0.9559	0%	21.609 K	0%	0.0284	0%	1.867 M	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0024	0%	0 B	0%	0.0007	0%	-53.906 K	-0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0002	0%	0 B	0%	0.0002	0%	-270.734 K	-0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0027	0%	0 B	0%	0.0008	0%	-200.75 K	-0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1
CPLEX Branch and Bound	36.6537	5%	1.372 M	0%	36.6537	5%	74.068 M	4%	1
CPLEX Pre Solve	0.0282	0%	663.203 K	0%	0.0282	0%	663.203 K	0%	1
CPLEX Probing	0.0259	0%	0 B	0%	0.0259	0%	4.252 M	0%	1
CPLEX Pre Solve	0.0228	0%	0 B	0%	0.0228	0%	658.781 K	0%	1
CPLEX Probing	0.0264	0%	0 B	0%	0.0264	0%	4.255 M	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.6941	0%	0 B	0%	0.0012	0%	4.809 M	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Generating Cuts for Root N	22.1180	3%	24.323 M	1%	10.6103	1%	68.4 M	4%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	-28.219 K	-0%	1
▶ CPLEX Heuristics	0.6575	0%	0 B	0%	0.0355	0%	509.094 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0036	0%	0 B	0%	0.0013	0%	2.078 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0039	0%	0 B	0%	0.0013	0%	-40.672 K	-0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0006	0%	0 B	0%	0.0006	0%	479.359 K	0%	1
▶ CPLEX Variable Selection	4.1803	1%	0 B	0%	4.1795	1%	17.641 K	0%	1

CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Generating Cuts for Root Node	22.1180	3%	24.323 M	1%	10.6103	1%	68.4 M	4%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	-28.219 K	-0%	1
▶ CPLEX Heuristics	0.6575	0%	0 B	0%	0.0355	0%	509.094 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0036	0%	0 B	0%	0.0013	0%	2.078 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0039	0%	0 B	0%	0.0013	0%	-40.672 K	-0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0006	0%	0 B	0%	0.0006	0%	479.359 K	0%	1
▶ CPLEX Variable Selection	4.1803	1%	0 B	0%	4.1795	1%	17.641 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	0 B	0%	1
CPLEX Branch and Bound	254.6420	34%	1.693 G	92%	254.6420	34%	1.786 G	97%	1
CPLEX Pre Solve	0.0506	0%	733.359 K	0%	0.0506	0%	733.359 K	0%	1
CPLEX Probing	0.0082	0%	0 B	0%	0.0082	0%	609.953 K	0%	1
CPLEX Pre Solve	0.0210	0%	0 B	0%	0.0210	0%	730.406 K	0%	1
CPLEX Probing	0.0082	0%	0 B	0%	0.0082	0%	614.625 K	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.7993	0%	0 B	0%	0.0012	0%	4.345 M	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0003	0%	0 B	0%	0.0003	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Generating Cuts for Root Node	6.9840	1%	0 B	0%	2.6134	0%	73.172 M	4%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0004	0%	0 B	0%	0.0004	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Heuristics	0.4870	0%	0 B	0%	0.0418	0%	766.875 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0007	0%	0 B	0%	0.0007	0%	0 B	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0005	0%	0 B	0%	0.0005	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Solve LP Relaxation	0.0037	0%	0 B	0%	0.0016	0%	437.797 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0006	0%	0 B	0%	0.0006	0%	0 B	0%	1
▶ CPLEX Variable Selection	0.5802	0%	0 B	0%	0.5795	0%	16.969 K	0%	1
CPLEX Solve LP Relaxation	0.0005	0%	0 B	0%	0.0005	0%	0 B	0%	1
CPLEX Branch and Bound	414.5327	55%	29.063 M	2%	414.5327	55%	1.812 G	98%	1

Como observamos, del total del tiempo de ejecución que tomó la optimización, prácticamente todo lo acaparó la resolución por branch & bound, las 2 veces que se intentó.

Si miramos el gráfico de Statistics, podemos notar la evolución de las mejores soluciones continuas encontradas (en rojo) en comparación con las mejores soluciones enteras (en verde). Se puede ver que sus evoluciones son totalmente opuestas, las enteras comienzan arriba y bajan abruptamente hasta estabilizarse en cierto nivel. Y las continuas lo hacen desde el punto más bajo y más progresivamente van mejorando (sin llegar a encontrarse con las enteras).



Paso 4

Lo que primero se puede notar de esta ejecución es que a los 98 segundos frenó su ejecución. Esto lo podemos comprobar en la sección Scripting Log, que es la primera de las ejecuciones en la que aparece un output:

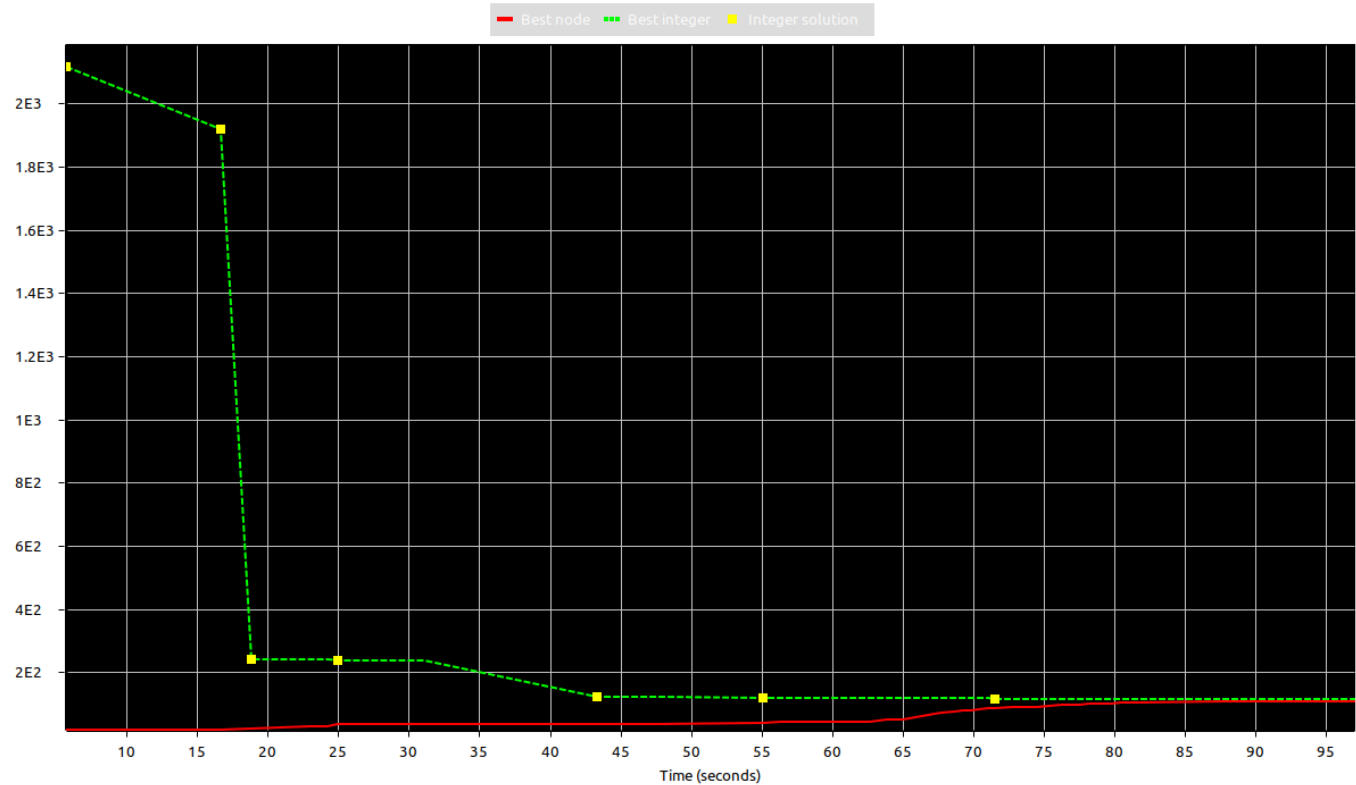
```
solution: 117 /size: 138 /time: 1718470566.830861092
Nodo 1: 1
Nodo 2: 1
Nodo 3: 1
Nodo 4: 1
Nodo 5: 1
Nodo 6: 5
...
```

Como vemos, se logea que la mejor solución entera encontrada fue 117, con un tamaño inicial de 138 (prendas en este caso). Además vemos a qué lavado corresponde cada prenda de la solución (con qué color se pintó cada nodo).

Si chequeamos la parte final de Engine Log vemos que llegamos a la solución de 117 pero ahora con un gap de 8.37%, que es incluso un poco más bajo que el del paso 3 (9.40%).

6051	467	92,8716	289	...	117,0000	106,6080	353187
8,88%							
6572	814	111,0000	127	117,0000	106,6080	417941	
8,88%							
Elapsed time = 92,90 sec. (59714,31 ticks, tree = 1,60 MB, solutions = 25)							
7404	823	99,8906	212	117,0000	106,6080	487667	
8,88%							
8718	689	cutoff		117,0000	107,2105	559601	
8,37%							

Ahora vemos el grafico de evolución de las mejores soluciones (Statistics):

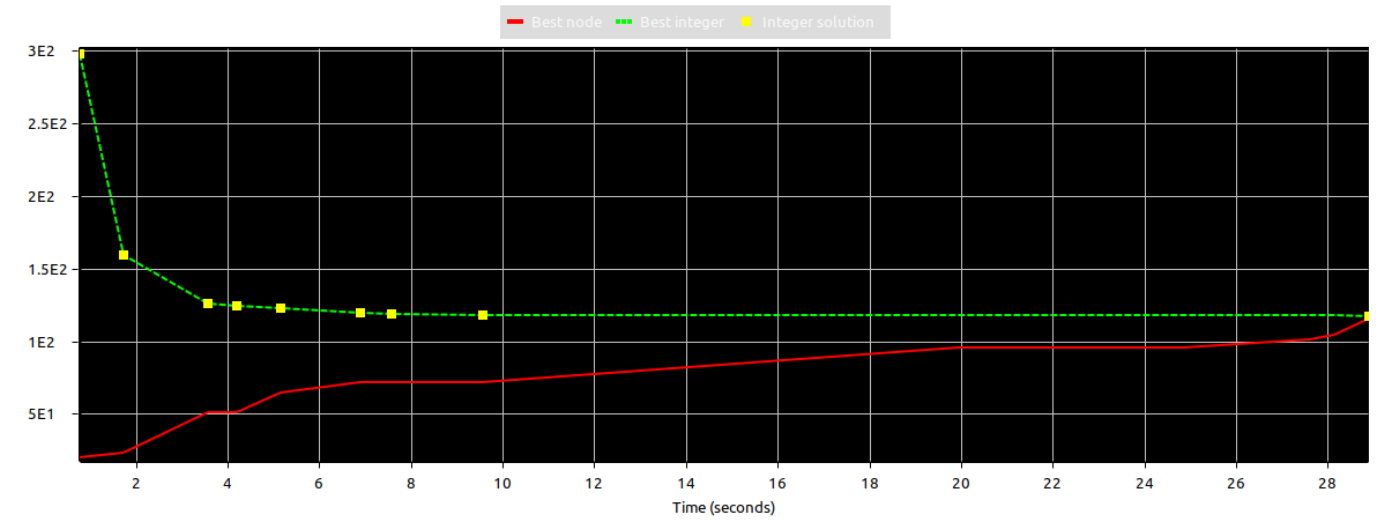


Es interesante que acá en prácticamente el mismo período de tiempo que en el paso 3, las soluciones enteras y continuas están mucho más cerca (casi convergen entre sí).

Finalmente, si observamos el output de Scripting Log, podemos contar la cantidad de lavados diferentes que se usan en la solución. Con 11 lavados alcanza para agrupar las 138 prendas respetando las incompatibilidades (y eso que la restricción de 15 lavados se quitó para este paso).

Paso 5

Lo más destacable de este paso es el tiempo en el que se alcanzó la mejor solución entera de 117. Para esta ejecución le bastó a CPLEX con 28.5s de tiempo de optimización:



Si chequeamos el header de Engine Log notamos que el problema reducido tiene 3962 filas (restricciones) y 2085 columnas (variables):

```
Version identifier: 22.1.1.0 | 2022-11-28 | 9160aff4d
Legacy callback                                pi
Tried aggregator 1 time.
MIP Presolve eliminated 13050 rows and 0 columns.
MIP Presolve modified 1350 coefficients.
Reduced MIP has 3962 rows, 2085 columns, and 13578 nonzeros.
Reduced MIP has 2070 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,04 sec. (23,33 ticks)
Found incumbent of value 300,000000 after 0,08 sec. (53,08 ticks)
Probing time = 0,02 sec. (4,05 ticks)
Tried aggregator 1 time.
Detecting symmetries...
Reduced MIP has 3962 rows, 2085 columns, and 13578 nonzeros.
Reduced MIP has 2070 binaries, 15 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.
Presolve time = 0,01 sec. (12,66 ticks)
Probing time = 0,02 sec. (4,28 ticks)
Clique table members: 1878.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
MIP search method: dynamic search.
Parallel mode: deterministic, using up to 8 threads.
Root relaxation solution time = 0,17 sec. (126,25 ticks)
```

Y si verificamos el final del output de Engine Log, notamos que el gap entre la solución encontrada y el óptimo real cayó al 2.29% (cada vez nos acercamos más):

3445	0	91,4634	318	118,0000	Cuts: 192	243951
19,07%						
3445	2	91,4634	297	118,0000	95,4975	243953
19,07%						
3469	7	cutoff		118,0000	95,4975	249769
19,07%						
Elapsed time = 21,17 sec. (9652,52 ticks, tree = 0,02 MB, solutions = 13)						

3753	62	112,0000	183	118,0000	95,4975	264961
19,07%						
5048	322	112,4348	211	118,0000	96,4398	305126
18,27%						
* 7017	416	integral	0	117,0000	114,3163	358270
2,29%						

Paso 6

- Primero hay que decir que tanto en el paso 3 como el 5, se limita la cantidad de lavados posibles a 15. Esto indefectiblemente reduce complejidad al problema.
- El paso 3 contaba con 3945 restricciones y 2085 variables, mientras que el paso 5 con 3962 restricciones y 2085 variables. Esto tiene completo sentido ya que lo único que hacemos en el paso 5 es agregar las restricciones de simetría al modelo.
- El paso 3 se ejecutó indefinidamente hasta que lo aborté manualmente, en cambio el paso 5 en 28.5s terminó su ejecución. Se puede entender esto por el hecho de que en el paso 3 el espacio de soluciones a explorar está menos reducido que el del 5, y por lo tanto requiere muchas más iteraciones para llegar a una misma mejor solución entera.
- Otro aspecto interesante a destacar es el gap entre la mejor solución encontrada por el paso 3 (fue de 9.4% al momento de abortarlo) y el gap para la misma solución en el paso 5 (fue de 2.29%). Bastante más cerca estuvo el paso 5 de su solución óptima real que el paso 3.

Luego de comparar los pasos 3 y 5 voy a pasar a realizar la misma comparación pero modificando ambos para que la restricción de lavados posibles sea igual a 11.

- Obviamente la mejor solución entera obtenida para los nuevos pasos 3 y 5 se mantuvo igual (117).
- El nuevo paso 3 cuenta con 2923 restricciones y 1529 variables, mientras que el nuevo paso 5 tiene 2935 y 1529 respectivamente.
- El nuevo paso 3 se ejecutó indefinidamente hasta que lo aborté manualmente, en cambio el nuevo paso 5 en 11.9s terminó su ejecución.
- El gap de la mejor solución del nuevo paso 3 fue de 8.55% y el del nuevo paso 5 fue de 2.30%.
- La primera mejor solución entera obtenida con el nuevo paso 3 y 5 fue de 220.

Paso 7

Para la comparación voy a utilizar la solución obtenida del modelo de la materia con un límite de 11 lavados y con las restricciones de simetría descomentadas.

Con mi heurística, para este set de datos obtuve un tiempo total de lavado de 123, distribuído en 11 lavados. En cambio, con el modelo de la materia resuelto con CPLEX obtuve un tiempo total de lavado de 117, distribuído en 11 lavados. Con esta comparación podemos notar la utilidad del uso de heurísticas para el caso de problemas demasiado complejos en los que el tiempo de cómputo es un factor limitante. Con mi heurística tuve un resultado bastante bueno (a 6 del mejor resultado de CPLEX) en tan solo 0.023s. Por más que no sea el resultado óptimo real, se puede considerar un buen resultado para el tiempo en el que lo obtuve.

Informe final del TP

Comencé la primera entrega del TP pensando que el problema a resolver era bastante sencillo. Lo era en parte, porque a medida que me fui metiendo más en los criterios que debía seguir para decidir el orden en el que probaba cada prenda en cada lavado, fui entendiendo que ninguna de mis estrategias me aseguraba que siempre me vaya a dar el menor tiempo posible. Al principio pensé que el orden en que iba iterando sobre las prendas era irrelevante, hasta que se me ocurrió probar con aquellas que más tiempo de lavado tenían, primero. Como esto mejoró bastante el resultado entendí que los criterios y reglas para elegir, necesitaban ser pensados un poco más en profundidad. A medida que fue avanzando la materia y dimos el problema combinatorio de coloreo de grafos y su complejidad de cálculo, entendí que el problema de las prendas tenía algo que ver con eso. Durante la segunda entrega también entendí, al ver los distintos resultados de mis compañeros en la página de entrega del TP, que no hay una única forma de plantear una heurística para este problema. Había bastante diversidad de resultados. Y entiendo que detrás de cada uno hay maneras distintas de encarar el problema y de definir los criterios y reglas que se siguen en el algoritmo. También me di cuenta, consultando con compañeros, que algunos de ellos habían intentado ir al principio por un enfoque de fuerza bruta para el algoritmo. Creo que inconscientemente bloqueé esa posibilidad desde el comienzo porque me parecía poco eficiente (aunque en realidad podría haber sido una solución válida si este fuese otro tipo de problema).

Finalmente, luego de haber dado heurísticas en la teórica pude entender que el algoritmo que había diseñado para la primera entrega no era otra cosa que una heurística de construcción para un problema de coloreo de grafos (maquillado de otra cosa). Con sus criterios y reglas heurísticas (por más precarias que fueran).