

Trabajo práctico

Alejandro García Marra, *Padrón Nro. 91.516*
`alemarra@gmail.com`

Sebastián Javier Bogado, *Padrón Nro. 91.707*
`sebastian.j.bogado@gmail.com`

1er. Cuatrimestre de 2013

71.14 Modelos y Optimization I

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

1. Ejercicio Principal

1.1. Análisis del caso

En esta situación problemática, nos encontramos con una refinería de petróleo, la cual elabora distintos productos finales, compuestos por diversos sub-productos. Lo que se busca entonces es optimizar las ganancias obtenidas por los productos finales, por medio de la correcta distribución de los sub-productos en los diversos procesos intermedios.

1.2. Objetivo

Determinar la cantidad de barriles de los distintos tipos de combustible, fueloil y lubricante a producir, así como la composición de los combustibles para maximizar las utilidades de la refinería por día.

1.3. Hipótesis y Aclaraciones

- Precio constante en el día
- No tengo stock inicial
- Se vende todo lo producido y, por ende, se puede hablar de fracciones de barril
- Se dispone de dinero suficiente para comprar toda la materia prima necesaria
- Puedo comprar cantidades fraccionarias de la materia prima
- Las máquinas no se rompen ni los empleados se rebelan
- Al hablar de “barriles” para referirse a cantidad, un barril de un producto es igual al de otro
- No hay pérdidas de producción ni transporte, excepto las indicadas en la destilación
- En las mezclas no se agrega nada que no esté mencionado, entonces las proporciones deben sumar 1
- El centro de destilación puede alternar entre crudo de tipo 1 y tipo 2 sin pérdidas de tiempo o costos adicionales. Lo mismo aplica para el centro de reformado y craqueo respecto de sus distintas entradas
- A menos que se indique lo contrario, puede no producirse alguno de los productos finales

1.4. Variables

1.4.1. Compra

$C1$ = Barriles de Crudo 1 por día

$C2$ = Barriles de Crudo 2 por día

1.4.2. Destilado

NL = Barriles de Nafta Liviana por día

NL^{REF} = Barriles de Nafta Liviana para Reformado por día

NL^{PR} = Barriles de Nafta Liviana para producir Premium por día

NL^{SU} = Barriles de Nafta Liviana para producir Super por día

NM = Barriles de Nafta Mediana por día

NM^{REF} = Barriles de Nafta Mediana para Reformado por día

NM^{PR} = Barriles de Nafta Mediana para producir Premium por día

NM^{SU} = Barriles de Nafta Mediana para producir Super por día

NP = Barriles de Nafta Pesada por día

NP^{REF} = Barriles de Nafta Pesada para Reformado por día

NP^{PR} = Barriles de Nafta Pesada para producir Premium por día

NP^{SU} = Barriles de Nafta Pesada para producir Super por día

AL = Barriles de Aceite Liviano por día

AL^{AV} = Barriles de Aceite Liviano para Aviones por día

AL^{GCR} = Barriles de Aceite Liviano para Gasolina Craqueada por día

AL^{ACR} = Barriles de Aceite Liviano para Aceite Craqueado por día

AL^{FO} = Barriles de Aceite Liviano para Fueloil por día

AP = Barriles de Aceite Mediano por día

AP^{AV} = Barriles de Aceite Pesado para Aviones por día

AP^{GCRA} = Barriles de Aceite Pesado para Gasolina Craqueada por día

AP^{ACRA} = Barriles de Aceite Pesado para Aceite Craqueado por día

AP^{FO} = Barriles de Aceite Pesado para Fueloil por día

$RDES$ = Barriles de Residuo Destilado por día

$RDES^{AV}$ = Barriles de Residuo Destilado para Aviones por día

$RDES^{LU}$ = Barriles de Residuo Destilado para Lubricante por día

$RDES^{FO}$ = Barriles de Residuo Destilado para Fueloil por día

1.4.3. Reformado

$GREF$ = Barriles de Gasolina Reformada por día

$GREF^{PR}$ = Barriles de Gasolina Reformada para nafta Premium por día

$GREF^{SU}$ = Barriles de Gasolina Reformada para nafta Super por día

1.4.4. Craqueo

$GCRA$ = Barriles de Gasolina Craqueada por día

$GCRA^{PR}$ = Barriles de Gasolina Craqueada para nafta Premium por día

$GCRA^{SU}$ = Barriles de Gasolina Craqueada para nafta Super por día

$ACRA$ = Barriles de Aceite Craqueado por día

$ACRA^{AV}$ = Barriles de Aceite Craqueado para Aviones por día

$ACRA^{FO}$ = Barriles de Aceite Craqueado para Fueloil por día

1.4.5. Ventas

PR = Barriles de Combustible Premium por día

SU = Barriles de Combustible Super por día

AV = Barriles de Combustible para Aviones por día

FO = Barriles de Fueloil por día

LU = Barriles de Lubricante por día

1.4.6. Constantes

$$\begin{aligned}OCTNL &= 100 \text{ Octanos} & OCTGREF &= 125 \text{ Octanos} \\OCTNM &= 90 \text{ Octanos} & OCTGCRA &= 115 \text{ Octanos} \\OCTNP &= 80 \text{ Octanos}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}PRESAL &= 1 \text{ Kg/cm}^2 & PRESACRA &= 1,5 \text{ Kg/cm}^2 \\PRESAP &= 0,6 \text{ Kg/cm}^2 & PRESRDES &= 0,05 \text{ Kg/cm}^2\end{aligned}$$

1.5. Ecuaciones

1.5.1. Destilado

$$\begin{aligned}NL &= 0,1 C1 + 0,15 C2 & = NL^{REF} + NL^{PR} + NL^{SU} \\NM &= 0,2 C1 + 0,25 C2 & = NM^{REF} + NM^{PR} + NM^{SU} \\NP &= 0,2 C1 + 0,18 C2 & = NP^{REF} + NP^{PR} + NP^{SU} \\AL &= 0,12 C1 + 0,08 C2 & = AL^{AV} + AL^{GCRA} + AL^{ACRA} + AL^{FO} \\AP &= 0,1 C1 & = AP^{AV} + AP^{GCRA} + AP^{ACRA} + AP^{FO} \\RDES &= 0,13 C1 + 0,12 C2 & = RDES^{AV} + RDES^{LU} + RDES^{FO}\end{aligned}$$

1.5.2. Reformado

$$GREF = 0,6 NL^{REF} + 0,52 NM^{REF} + 0,45 NP^{REF} = GREF^{PR} + GREF^{SU}$$

1.5.3. Craqueo

$$\begin{aligned}GCRA &= 0,28 AL^{GCRA} + 0,2 AP^{GCRA} & = GCRA^{PR} + GCRA^{SU} \\ACRA &= 0,68 AL^{ACRA} + 0,75 AP^{ACRA} & = ACRA^{AV} + ACRA^{FO}\end{aligned}$$

1.5.4. Ventas

$$PR = NL^{PR} + NM^{PR} + NP^{PR} + GCRA^{PR} + GREF^{PR}$$

$$SU = NL^{SU} + NM^{SU} + NP^{SU} + GCRA^{SU} + GREF^{SU}$$

$$1,8 FO = AL^{FO}$$

$$6 FO = AP^{FO}$$

$$4,5 FO = ACRA^{FO}$$

$$18 FO = RDES^{FO}$$

$$AV = AL^{AV} + AP^{AV} + ACRA^{AV} + RDES^{AV}$$

$$LU = RDES^{LU}$$

1.5.5. Funcional

$$Z = 700 \text{ \$/B} \cdot PR + 600 \text{ \$/B} \cdot SU + 400 \text{ \$/B} \cdot AV + 350 \text{ \$/B} \cdot FO + 150 \text{ \$/B} \cdot LU$$

1.6. Restricciones

$$C1 \leq 20000 \text{ B/d}$$

$$C2 \leq 30000 \text{ B/d}$$

$$C1 + C2 \leq 45000 \text{ B/d}$$

$$NL^{REF} + NM^{REF} + NP^{REF} \leq 10000 \text{ B/d}$$

$$AL^{GCRA} + AL^{ACRA} + AP^{GCRA} + AP^{ACRA} \leq 8000 \text{ B/d}$$

$$500B/d \leq LU \leq 1000 \text{ B/d}$$

$$PR \geq 0,4 \text{ SU}$$

$$PR \cdot 98 \text{ Oct} \leq OCTNL \cdot NL^{PR} + OCTNM \cdot NM^{PR} + OCTNP \cdot NP^{PR} +$$

$$OCTCRA \cdot GCRA^{PR} + OCTREF \cdot GREF^{PR}$$

$$SU \cdot 95 \text{ Oct} \leq OCTNL \cdot NL^{SU} + OCTNM \cdot NM^{SU} +$$

$$OCTNP \cdot NP^{SU} + OCTCRA \cdot GCRA^{SU} + OCTREF \cdot GREF^{SU} \leq SU \cdot 97,99 \text{ Oct}$$

$$AV \cdot 1 \text{ Kg/cm}^2 \geq PRESAL \cdot AL^{AV} + PRESAP \cdot AP^{AV} +$$

$$PRESACRA \cdot ACRA^{AV} + PRESRDES \cdot RDES^{AV}$$

1.7. Corrida de Prueba

Corrida de prueba del archivo tp2.mod con el software GLPK.

Problem: tp2 ;

Rows: 39 ; Columns: 42 ; Non-zeros: 149

Status: OPTIMAL

Objective: $Z = 18971019,9(MAXimum)$

No Row	name	St	Activity	Lower bound	Upper bound	Marginal
1	Z	B	\$18971019.9			
2	inProduccionNL	NS	0	-0	=	725.539
3	outProduccionNL	NS	0	-0	=	-725.539
4	inProduccionNM	NS	0	-0	=	597.844
5	outProduccionNM	NS	0	-0	=	-597.844
6	inProduccionNP	NS	0	-0	=	470.149
7	outProduccionNP	NS	0	-0	=	-470.149
8	inProduccionAL	NS	0	-0	=	400
9	outProduccionAL	NS	0	-0	=	-400
10	inProduccionAP	NS	0	-0	=	400
11	outProduccionAP	NS	0	-0	=	-400
12	inProduccionRDES	NS	0	-0	=	400
13	outProduccionRDES	NS	0	-0	=	-400
14	inProduccionGREF	NS	0	-0	=	1044.78
15	outProduccionGREF	NS	0	-0	=	-1044.78
16	inProduccionGCRA	NS	0	-0	=	1428.57
17	outProduccionGCRA	NS	0	-0	=	-1428.57
18	inProduccionACRA	NS	0	-0	=	533.333
19	outProduccionACRA	NS	0	-0	=	-533.333
20	finalPR	NS	0	-0	=	-551.41
21	finalSU	NS	0	-0	=	-551.41
22	ALpartFO	NS	0	-0	=	400
23	APpartFO	NS	0	-0	=	400
24	ACRApartFO	NS	0	-0	=	533.333
25	RDESpertFO	NS	0	-0	=	400
26	finalAV	NS	0	-0	=	400
27	finalLU	NS	0	-0	=	400
28	dispCrudo1	NU	20000		20000	3.23383
29	dispCrudo2	B	25000		30000	
30	maxDestilado	NU	45000		45000	422.919
31	maxReformado	B	7412.94		10000	
32	maxCraqueo	B	0		8000	
33	minLub	NL	500	500		-250
34	maxLub	B	500		1000	
35	minPremium	B	20422.9	-0		
36	minOCTPR	NU	0		-0	12.7695
37	minOCTSU	NU	0		-0	12.7695
38	maxOCTSU	B	0	-0		
39	maxPresAV	B	5645	-0		

No. Column	name	St	Activity	Lower bound	Upper bound	Marginal
1	C1	B	20000	0		
2	C2	B	25000	0		
3	NL	B	5750	0		
4	NLREF	NL	0	0		-98.6733
5	NLPR	B	5750	0		
6	NLSU	NL	0	0		<eps
7	NM	B	10250	0		
8	NMREF	NL	0	0		-54.5605
9	NMPR	B	10250	0		
10	NMSU	NL	0	0		<eps
11	NP	B	8500	0		
12	NPREF	B	7412.94	0		
13	NPPR	B	1087.06	0		
14	NPSU	B	0	0		
15	AL	B	4400	0		
16	ALAV	B	4400	0		
17	ALGCRA	B	0	0		
18	ALACRA	NL	0	0		-37.3333
19	ALFO	B	0	0		
20	AP	B	2000	0		
21	APAV	B	2000	0		
22	APGCRA	NL	0	0		-114.286
23	APACRA	B	0	0		
24	APFO	B	0	0		
25	RDES	B	5600	0		
26	RDESAV	B	5100	0		
27	RDESLU	B	500	0		
28	RDESFO	B	0	0		
29	GREF	B	3335.82	0		
30	GREFPR	B	3335.82	0		
31	GREFSU	B	0	0		
32	GCRA	B	0	0		
33	GCRAPR	NL	0	0		-511.49
34	GCRASU	NL	0	0		-511.49
35	ACRA	B	0	0		
36	ACRAAV	NL	0	0		-133.333
37	ACRAFO	B	0	0		
38	PR	B	20422.9	0		
39	SU	NL	0	0		-61.6915
40	AV	B	11500	0		
41	FO	NL	0	0		-12370
42	LU	B	500	0		

1.8. Análisis de los Resultados

El funcional obtenido es $Z = \$18971019,9$, aproximadamente 19 millones de pesos por día en ventas. Si nos fijamos en los costos unitarios por producto final de los barriles, vemos que esta cifra puede ser válida, ya que se procesan decenas de miles de barriles por día, a un promedio de \$440 por barril, aunque con gran diferencia entre el de mayor valor (\$700) y el de menor (\$150).

Se puede observar en la primer tabla la utilización plena del Crudo1 como materia prima, mientras que del Crudo 2 tenemos un sobrante del 16 %. Esto se debe a que sólo es posible obtener el Aceite pesado, necesario para la producción de Combustible para Aviones o Fueloil (más al respecto a continuación), por medio de la destilación del crudo de primer tipo. Por lo tanto, para generar esas ganancias se fuerza su destilación. Esto puede verse en el valor marginal de la materia prima, lo cual nos indica que tener disponible 1 barril extra de Crudo tipo 1, implicaría un incremento de \$3 en el funcional. No se consigue el uso total del crudo de tipo 2 debido a la saturación de la capacidad de destilación diaria. Viendo que dicho máximo de destilación fue alcanzado, su costo marginal es de \$422.9, es decir, aumentar la capacidad de destilación en 1 barril, implicaría un incremento en el funcional de \$422.9.

En el caso del Reformado, no se consigue saturar la producción posible, quedando un restante de 2587 barriles (25 % de la capacidad total). Esto podría ser el resultado de un rendimiento no muy tentador por parte del proceso de reformado. Si bien se consiguen incrementos en el octanaje, en 2 de 3 casos el rendimiento por barril está cerca del 50 %, por lo que únicamente pasaron por el Reformado los barriles de Nafta Pesada obtenidos de la destilación, siendo los que mejor relación entre octanaje - rendimiento tenían.

Es llamativo lo ocurrido en el proceso de Craqueo, del cual no se hizo uso (0 barriles procesados de los 8000 de capacidad). Nuevamente, la relación entre el beneficio del craqueo y su rendimiento no fue el suficiente como para priorizar este proceso.

Pasando a los productos finales, podemos ver que la restricción sobre el mínimo de Lubricante a producir genera una pérdida, ya que incrementar en una unidad el mínimo de barriles de Lubricante, implica una pérdida de \$250 en el funcional. Esto ocurre por el bajo precio de estos barriles, cuya producción quita recursos utilizables en otros productos de mayor valor comercial, como el combustible para Aviones.

Con los precios de venta en mente, podemos ver que los de menor valor quedaron relegados a una producción nula (o mínima por la presencia de restricciones), como fue el caso de la Nafta Super, o el Fueloil. De hecho, restricciones sobre un mínimo de producción necesario en las naftas super, de 1 barril diario, provocaría una pérdida de \$61 en el funcional, mientras que para el caso del Fueloil esta cifra asciende llamativamente a \$12370. Como se menciona con anterioridad, esto se debe a que la producción de estos barriles consume materia prima que podría aplicarse a la producción de barriles con mayor valor comercial.

En forma de resumen, podemos destacar que el funcional, al ser de máximo, buscó la mayor producción posible del producto mas valioso comercialmente,

el combustible premium, y sólo se obtuvieron producciones de otro tipo para aprovechar materia prima (o sub-productos) sobrantes. En este problema, hacer mas estrictos los mínimos necesarios para cada producto, llevaría a una pérdida de dinero por parte de la empresa.

Para mejorar aún mas las potenciales ganancias, se debería incrementar la capacidad máxima de destilación diaria, así como también conseguir mayor cantidad de crudo de tipo 1 para su procesado.

Consumo Crudo 1	100 %
Consumo Crudo 2	83.3 %
Capacidad de Destilación Sobrante	0 %
Capacidad de Reformado Sobrante	74.3 %
Capacidad de Craqueado Sobrante	100 %
Nafta Liviana	5750 B/dia
Nafta Liviana para Premium	100 %
Nafta Liviana para Super	0 %
Nafta Liviana para Reformado	0 %
Nafta Mediana	10250 B/dia
Nafta Mediana para Premium	100 %
Nafta Mediana para Super	0 %
Nafta Mediana para Reformado	0 %
Nafta Pesada	8500 B/dia
Nafta Pesada para Premium	12.8 %
Nafta Pesada para Super	0 %
Nafta Pesada para Reformado	87.2 %
Aceite Liviano	4400 B/dia
Aceite Liviano para Aviones	100 %
Aceite Liviano para Gasolina Craquada	0 %
Aceite Liviano para Aceite Craqueado	0 %
Aceite Liviano para Fueloil	0 %
Aceite Pesado	200 B/dia
Aceite Pesado para Aviones	100 %
Aceite Pesado para Gasolina Craqueada	0 %
Aceite Pesado para Aceite Craqueado	0 %
Aceite Pesado para Fueloil	0 %
Residuo de Destilación	5600 B/dia
Residuo Destilación para Aviones	91 %
Residuo Destilación para Lubricante	9 %
Residuo Destilación para Fueloil	0 %
Gasolina Craqueada	0 B/dia
Gasolina Reformada	3335.82 B/dia
Gasolina Reformada para Nafta Premium	100 %
Gasolina Reformada para Nafta Super	0 %
Aceite Craqueado	0 B/dia
Combustible Premium	20422.9 B/dia
Combustible Super	0 B/dia
Combustible Aviones	11500 B/dia
Fueloil	0 B/dia
Lubricante	500 B/dia

1.9. Anexo I: Modelización con GLPK

```
# Resolucion TP - Modelos y Optimizacion I - Catedra Sabados
# Bogado Sebastian - 91707
# Garcia Marra Alejandro - 91516
# Ejercicio 1 - 2da Entrega

/* variables */

# Compra
var C1 >= 0;
var C2 >= 0;

# Destilado
var NL >= 0;
var NLREF >= 0;
var NLPR >= 0;
var NLSU >= 0;

var NM >= 0;
var NMREF >= 0;
var NMPR >= 0;
var NMSU >= 0;

var NP >= 0;
var NPREF >= 0;
var NPPR >= 0;
var NPSU >= 0;

var AL >= 0;
var ALAV >= 0;
var ALGCRA >= 0;
var ALACRA >= 0;
var ALFO >= 0;

var AP >= 0;
var APAV >= 0;
var APGCRA >= 0;
var APACRA >= 0;
var APFO >= 0;

var RDES >= 0;
var RDESAV >= 0;
var RDESLU >= 0;
var RDESFO >= 0;
```

```

# Reformado
var GREF >= 0;
var GREFPR >= 0;
var GREFSU >= 0;

# Craqueo
var GCRA >= 0;
var GCRAPR >= 0;
var GCRASU >= 0;

var ACRA >= 0;
var ACRAAV >= 0;
var ACRAFO >= 0;

# Ventas

var PR >= 0;
var SU >= 0;
var AV >= 0;
var FO >= 0;
var LU >= 0;

/* Funcional */
maximize Z: 700 * PR + 600 * SU + 400 * AV + 350 * FO + 150 * LU;

/** Ecuaciones **/

/*- Destilado -*/

/*Nafta Liviana*/
s.t. inProduccionNL: NL = 0.1 * C1 + 0.15 * C2;
s.t. outProduccionNL: NL = NLREF + NLPR + NLSU;

/*Nafta Mediana*/
s.t. inProduccionNM: NM = 0.2 * C1 + 0.25 * C2;
s.t. outProduccionNM: NM = NMREF + NMPR + NMSU;

/*Nafta Pesada*/
s.t. inProduccionNP: NP = 0.2 * C1 + 0.18 * C2;
s.t. outProduccionNP: NP = NPREF + NPPR + NPSU;

/*Aceite Liviano*/
s.t. inProduccionAL: AL = 0.12 * C1 + 0.08 * C2;
s.t. outProduccionAL : AL = ALAV + ALGCRA + ALACRA + ALFO;

/*Aceite Pesado*/
s.t. inProduccionAP: AP = 0.1 * C1;
s.t. outProduccionAP: AP = APAV + APGCRA + APACRA + APFO;

```

```

/*Residuo Destilado*/
s.t. inProduccionRDES:   RDES = 0.13 * C1 + 0.12 * C2;
s.t. outProduccionRDES: RDES = RDESAV + RDESLU + RDESFO;

/*- Reformado -*/

/*Gasolina Reformada*/
s.t. inProduccionGREF:   GREF = 0.6 * NLREF + 0.52 * NMREF + 0.45 * NPREF;
s.t. outProduccionGREF: GREF = GREFPR + GREFSU;

/*- Craqueo -*/

/*Gasolina Craqueada*/
s.t. inProduccionGCRA:   GCRA = 0.28 * ALGCRA + 0.2 * APGCRA;
s.t. outProduccionGCRA: GCRA = GCRAPR + GCRASU;

/*Aceite Craqueado*/
s.t. inProduccionACRA:   ACRA = 0.68 * ALACRA + 0.75 * APACRA;
s.t. outProduccionACRA: ACRA = ACRAAV + ACRAFO;

/*- Ventas -*/

s.t. finalPR: PR = NLPR + NMPR + NPPR + GCRAPR + GREFPR;
s.t. finalSU: SU = NLSU + NMSU + NPSU + GCRASU + GREFSU;

s.t. ALpartFO: 1.8 * FO = ALFO;
s.t. APpartFO: 6 * FO = APFO;
s.t. ACRApartFO: 4.5 * FO = ACRAFO;
s.t. RDESpertFO: 18 * FO = RDESFO;

s.t. finalAV: AV = ALAV + APAV + ACRAAV + RDESAV;
s.t. finalLU: LU = RDESLU;

/** Restricciones **/

/* Destilaciones m ximas de Crudos */
s.t. dispCrudo1: C1 <= 20000;
s.t. dispCrudo2: C2 <= 30000;
s.t. maxDestilado: C1 + C2 <= 45000;

/* Reformado maximo de naftas */
s.t. maxReformado: NLREF + NMREF + NPREF <= 10000;

```

```

/* Craqueo maximo de aceites */
s.t. maxCraqueo: ALGCRA + ALACRA + APGCRA + APACRA <= 8000;

/* Produccion de Lubricantes */
s.t. minLub: LU >= 500;
s.t. maxLub: LU <= 1000;

/* Minimo inProduccion nafta Premium */
s.t. minPremium: PR >= 0.4 * SU;

/* Octanaje nafta Premium */
s.t. minOCTPR: PR * 98 <= 100 * NLPR + 90 * NMPR + 80 * NPPR +
    + 115 * GCRAPR + 125* GREFPR;

/* Octanaje nafta Super*/
s.t. minOCTSU: SU * 95 <= 100 * NLSU + 90 * NMSU + 80 * NPSU +
    + 115 * GCRASU + 125* GREFSU;
s.t. maxOCTSU: SU * 97.99 >= 100 * NLSU + 90 * NMSU + 80 * NPSU +
    + 115 * GCRASU + 125* GREFSU;

/* Presion por cm^2 de Combustible para Aviones*/
s.t. maxPresAV: AV >= 1 * ALAV + 0.6 * APAV + 1.5 * ACRAAV +
    + 0.05 * RDESAV;
end;

```

2. Ejercicio Complementario

2.1. Análisis del caso

Pepe desea fabricar sidra de manera artesanal para luego venderla a una cadena de locales gourmet. Para esto, cuenta con tres tipos distintos de manzanas como materia prima, a partir de las cuales se pueden obtener tanto sidra natural como sidra dulce. La diferencia entre una y otra surge de cambios en la proporción de las diferentes manzanas utilizadas.

2.2. Objetivo

Determinar la cantidad de sidra de uno y otro tipo a producir de forma tal de maximizar las ganancias que obtiene Pepe en un período. (En este caso utilizaremos un período de una semana, ya que lo consideramos razonable.)

2.3. Hipótesis

- Dispone del dinero para comprar toda la materia prima necesaria
- Dispone de tiempo suficiente para realizar toda la producción indicada
- No tiene stock previo
- La cadena de locales comprará toda la producción obtenida
- No hay pérdidas de materia prima en el proceso ni en el transporte
- No hay pérdidas de producción
- Los precios son constantes dentro del período.

2.4. Variables

2.4.1. Venta

SN = Litros/Sem de Sidra Natural

SD = Litros/Sem de Sidra Dulce

2.5. Ecuaciones

$$0,5 \cdot SD + 1 \cdot SN \leq 15$$

$$SD + SN \leq 60$$

$$0,5 \cdot SD \leq 15$$

$$SD \geq 10$$

$$Z_{MAX} = 20 \$/L \cdot SN + 15 \$/L \cdot SD$$