

## ANEXO 1

### **METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS VALORES NUMÉRICOS ASOCIADOS A LOS PARÁMETROS a), b), c) y d), ASÍ COMO LOS VALORES UR Y DR**

Para determinar los valores numéricos asociados a los parámetros a), b), c) y d), así como los valores UR y DR establecidos en la Resolución CREG 009 de 2003 y las que la modifiquen o sustituyan para el modelamiento de las rampas de aumento y disminución de los generadores térmicos, se seguirá el siguiente procedimiento por parte de los agentes generadores:

1. Se verifican condiciones normales de operación, llevando la unidad desde cero (0) MW hasta la capacidad efectiva neta, y desde la capacidad efectiva neta hasta cero (0) MW.
2. Cada agente grafica las condiciones de arranque y parada de sus unidades de generación térmica, por medio de curvas de Potencia de Generación (MW) vs. Tiempo (horas).
3. De las curvas de Potencia de generación (MW) vs. Tiempo (horas) se calcula el área bajo la curva en cada período horario, encontrándose los valores de energía para cada período horario para las condiciones operativas mencionadas en el punto 1.
4. A partir de los valores de Energía para cada Período horario, calculados en el punto anterior, se analizan los diferentes modelos planteados y se encuentra el modelo o la combinación de modelos más adecuada para cada unidad o planta térmica.

### **DETERMINACIÓN DE LOS VALORES NUMÉRICOS ASOCIADOS A LOS PARÁMETROS a), b), c) y d), ASÍ COMO LOS VALORES UR Y DR**

El modelo lineal definido en la Resolución CREG 009 de 2003 es el siguiente:

$a \cdot P_i(t) - b \cdot P_i(t-1) \leq UR_i$ ; para la rampa de aumento

$c \cdot P_i(t-1) - d \cdot P_i(t) \leq DR_i$ ; para la rampa de disminución

donde:

UR: Rampa de aumento.

DR: Rampa de disminución.

$P_i(t)$ : Energía (MWh) despachada para la planta i en el período t.

$P_i(t-1)$ : Energía (MWh) despachada para la planta i en el período t-1.

Con base en este modelo, se presentan a continuación diferentes opciones para los valores numéricos asociados a los parámetros a), b), c) y d), así como los valores UR y DR:

#### **MODELO 1: Bloques fijos de aumento y disminución**

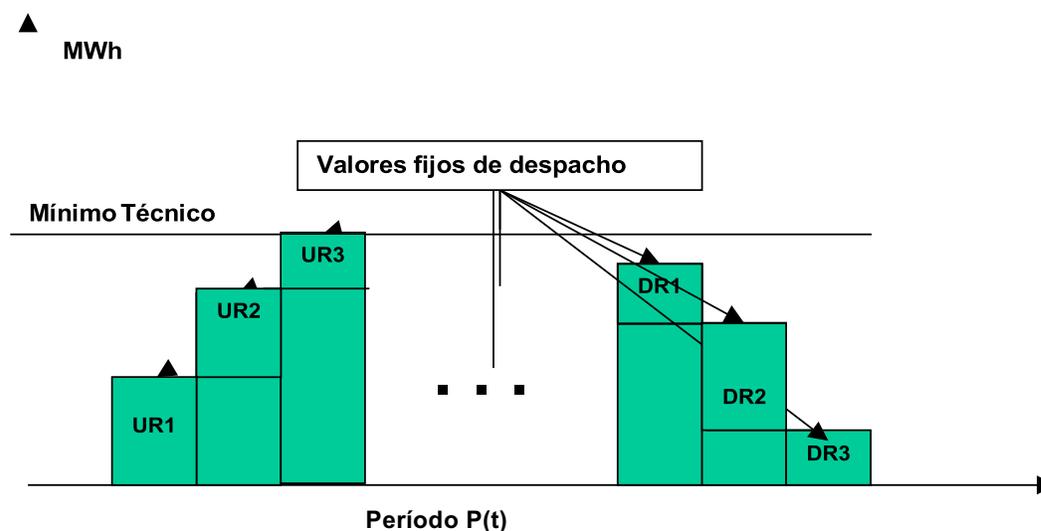
Este modelo utiliza un valor numérico de 1 para los parámetros a), b), c) y d) ( $a = b = c = d = 1$ ) del modelo lineal establecido en la Resolución CREG 009 de 2003. Podrá ser utilizado para declarar las rampas de aumento desde un valor de cero (0) MWh hasta el mínimo técnico, y de disminución desde el mínimo técnico hasta cero (0) MWh. No podrá aplicarse para valores mayores que el mínimo técnico del recurso.

---

Se permitirá la declaración por parte de los agentes de un máximo de cinco (5) bloques para las rampas de aumento y hasta cinco (5) bloques para las rampas de disminución. Estos bloques serán valores únicos en MWh para cada período del arranque y parada. Además, se permitirá la declaración de bloques para arranque en frío, en tibio o en caliente.

Los períodos asociados con los bloques fijos de aumento y disminución durante el arranque y apagado, no se considerarán para efectos de aplicar el parámetro Tiempo Mínimo de Generación.

En este caso, la ecuación general toma la forma:  $P(t) - P(t-1) = UR$  y  $P(t-1) - P(t) = DR$ , para diferentes valores de  $P(t-1)$ . Gráficamente:



**Ejemplo:**

El generador térmico declara al CND los bloques de arranque y parada para su recurso así:

**Rampa de aumento:**

Período	UR(i)	MWh
P(0)		0
P(1)	10	10
P(2)	15	25
P(3)	10	35
Mín. Téc.	15	50

**Rampa de disminución:**

Período	DR(i)	MWh
---------	-------	-----

Mín. Téc.		50
P(1)	30	20
P(2)	15	5
P(3)	5	0

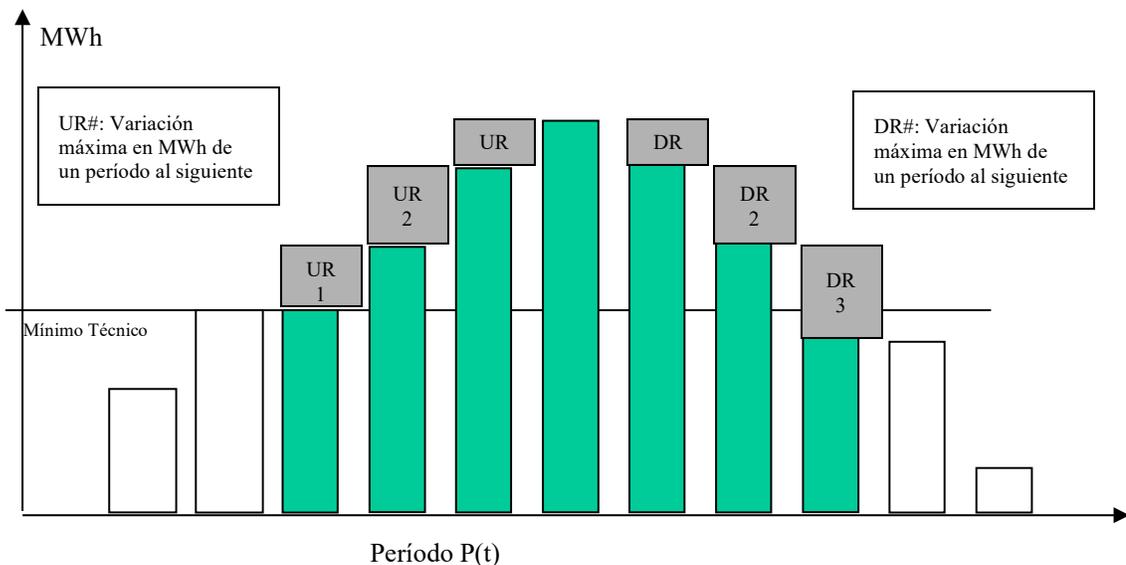
**MODELO 2: Límites de velocidad de toma de carga y descarga (MWh)**

Este modelo utiliza un valor numérico de 1 para los parámetros a), b), c) y d) ( $a = b = c = d = 1$ ) del modelo lineal establecido en la Resolución CREG 009 de 2003. Podrá ser utilizado para declarar la velocidad de toma de carga y descarga de un período a otro en MWh, es decir, la máxima variación en MWh que puede presentar el recurso para pasar de un programa de  $P(t-1)$  MWh a  $P(t)$  MWh.

Podrá ser utilizado para intervalos de valores de  $P(t-1)$ , en el rango que va desde 0 MWh hasta la Capacidad Efectiva Neta del recurso, siempre y cuando los valores de UR y DR permitan que la planta sea despachada en valores que van desde el mínimo técnico hasta la capacidad efectiva neta.

Los agentes podrán declarar la variación máxima en MWh para un máximo de cinco intervalos de valores de  $P(t-1)$ , los cuales no podrán traslaparse.

Gráficamente:



**Ejemplo:**

Rampa de aumento:

- UR1: Para un valor de  $P(t-1)$  de 40 MWh a 50 MWh: Variación máxima de 10 MWh
- UR2: Para un valor de  $P(t-1)$  de 51 MWh a 60 MWh: Variación máxima de 10 MWh
- UR3: Para un valor de  $P(t-1)$  de 61 MWh a 80 MWh: Variación máxima de 20 MWh

Rampa de disminución:

DR1: Para un valor de  $P(t-1)$  de 100 MWh a 80 MWh: Variación máxima de 20 MWh

DR2: Para un valor de  $P(t-1)$  de 80 MWh a 50 MWh: Variación máxima de 30 MWh

**Nota:** Los agentes podrán declarar un Bloque fijo de salida desde despachos superiores a Mínimo Técnico hasta cero, el cual será tenido en cuenta por el Centro Nacional de Despacho en los casos en los cuales sea más óptima esta operación.

### **MODELO 3**

Este modelo utiliza valores numéricos diferentes a 1 para los parámetros a), b), c) y d). En este caso, se halla un único conjunto de valores para a, b y UR, de tal manera que sea válido para representar las variaciones máximas de generación en energía, de un período al siguiente, de un rango desde el mínimo técnico hasta la capacidad efectiva neta del recurso. Así mismo, un único conjunto de valores para c, d y DR, de tal manera que sea válido para representar las variaciones máximas de generación en energía, de un período al siguiente, de un rango desde la capacidad efectiva del recurso hasta el mínimo técnico.

Para hallar a), b), c) y d) se determina:

- Para la rampa de aumento (MWh/hora):

Se gráfica  $P(t-1)$  vs.  $P(t)$ , para cada valor de energía máximo posible en cada hora para llegar a la capacidad efectiva neta, partiendo desde el mínimo técnico. Con base en los puntos graficados, se halla la ecuación de la recta que más se ajusta a la representación de estos. La pendiente de esta recta será la rampa de aumento UR en MWh/hora del recurso a aplicar desde el mínimo técnico hasta la capacidad efectiva.

- Para la rampa de disminución (MWh/hora):

Se gráfica  $P(t)$  vs.  $P(t-1)$ , para cada valor de energía máximo posible en cada hora para llegar al mínimo técnico, partiendo desde la capacidad efectiva neta. Con base en los puntos graficados, se halla la ecuación de la recta que más se ajusta a la representación de los mismos. La pendiente de esta recta será la rampa de disminución DR en MWh/hora del recurso.

Ejemplo:

Teniendo un recurso con los siguientes valores posibles óptimos para incrementar su generación desde el mínimo técnico hasta su capacidad efectiva:

Período	Energía en el período
MT	50
P1	65

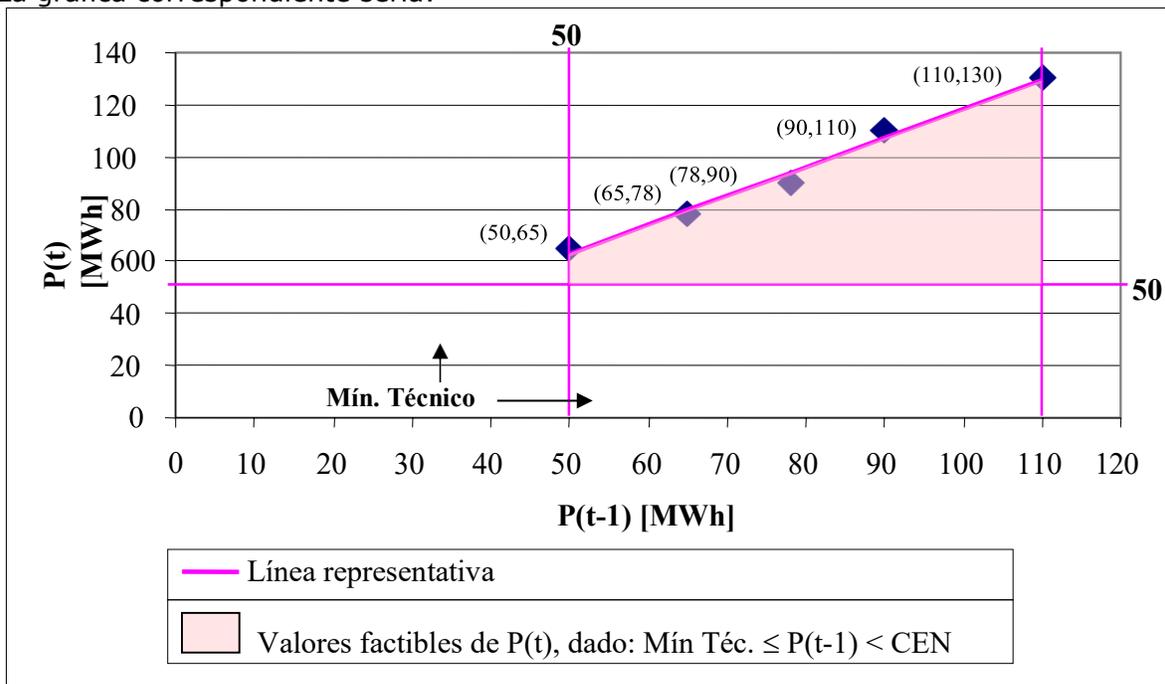
---

P2	78
P3	90
P4	110
Capacidad efectiva	130

En este caso, los pares de valores de  $P(t-1)$  y  $P(t)$  son los siguientes:

$P(t-1)$	$P(t)$
50	65
65	78
78	90
90	110
110	130

La gráfica correspondiente sería:



La ecuación de la línea recta que representa mejor los puntos graficados es:

$$P(t) - 1.1147 P(t-1) = 7$$

Para el modelo lineal:

$$a * P(t) - b * P(t-1) \leq UR$$

Se concluye que :

$$a = 1$$



Consejo Nacional de Operación

---

$$b = 1.1147$$

$$UR = 7$$

Por tanto, estos valores serían utilizados para modelar la rampa de subida del recurso, desde su mínimo técnico hasta la capacidad efectiva neta, teniendo en cuenta que para un valor dado de  $P(t-1)$  mayor al mínimo técnico, el siguiente valor de la rampa  $P(t)$  en MWh, debe ser tomado del área sombreada en la gráfica.

---

## **ANEXO 2**

### Modelo de rampas de aumento y disminución para Plantas de ciclo combinado

Para estas plantas el agente define las diferentes configuraciones posibles de generación para la planta, con base en la disponibilidad de sus unidades de gas, de vapor y calderas recuperadoras y/o en sus características especiales.

Los agentes definen para las diferentes configuraciones posibles cuál es el mejor modelo por utilizar de los incluidos en el Anexo 1 del presente Acuerdo, que deberá ser único para todas las configuraciones posibles de la planta

En la oferta se deberá informar la disponibilidad del recurso para cada una de las 24 horas del día de despacho y con esta se tomarán automáticamente los valores numéricos asociados a los parámetros a), b), c) y d), así como los valores UR y DR

Los agentes podrán inscribir más de un valor para el mínimo técnico de las plantas de ciclo combinado dependiendo de la disponibilidad y configuración del recurso y el CND tendrá en cuenta dichos valores en el despacho.

### **MODELO DE RAMPAS DE AUMENTO Y DISMINUCIÓN PARA PLANTAS DE CICLO COMBINADO PARA TERMOCENTRO**

La Central Termocentro corresponde a una planta de ciclo combinado, que utiliza gas natural como combustible primario y queroseno como combustible de emergencia y dispone de una configuración de planta con dos turbinas a gas, dos calderas recuperadoras de calor ( HRSG ´s) y una turbina a vapor.

( 2\*TG + 2 Calderas Recuperadoras + 1 TV ).

Dependiendo de la disponibilidad de cada uno de estos componentes principales, (2\*TG + 2 Calderas Recuperadoras + 1 TV ), la planta presenta diez alternativas posibles de configuración, cinco operando con gas natural y cinco adicionales operando con queroseno, variando la capacidad efectiva neta disponible y por consiguiente los valores numéricos asociados a los parámetros UR y DR, para las rampas de aumento y disminución de carga.

---



Consejo Nacional de Operación

## ALTERNATIVAS DE CONFIGURACIÓN DE LA PLANTA TERMOCENTRO Y MODELO DE RAMPAS

Combustible: Gas Natural

ALTERNATIVAS DE CONFIGURACIÓN TERMOCENTRO (D: Disponible / ND: No Disponible)						DISPONIBILIDAD DE LA PLANTA	MODELO DE RAMPAS
Altva No.	TG1	TG2	CALD 1	CALD 2	TV	(MW)	
1	D	D	D	D	D	280	2
2	D	D	ND	D	D	234	2
2	D	D	D	ND	D	234	2
3	D	D	D	D	ND	192	2
4	D	ND	D	D	D	138	2
4	ND	D	D	D	D	138	2
5	D	ND	D	D	ND	96	2
5	ND	D	D	D	ND	96	2

Combustible: Queroseno

ALTERNATIVAS DE CONFIGURACIÓN TERMOCENTRO (D: Disponible / ND: No Disponible)						DISPONIBILIDA D DE LA PLANTA	MODELO DE RAMPAS
Altva No.	TG1	TG2	CALD 1	CALD 2	TV	(MW)	
6	D	D	D	D	D	276	2
7	D	D	ND	D	D	232	2
7	D	D	D	ND	D	232	2
8	D	D	D	D	ND	190	2
9	D	ND	D	D	D	136	2
9	ND	D	D	D	D	136	2
10	D	ND	D	D	ND	95	2
10	ND	D	D	D	ND	95	2

**Modelo para rampas de aumento y disminución en la planta de Ciclo Combinado La Sierra**

El modelo de rampas de aumento y disminución corresponde al modelo lineal con las siguientes características:

- Los parámetros a), b), c) y d) empleados para Termosierra en su modelo son iguales a 1.
- A continuación, se detallan las diferentes configuraciones posibles con las particularidades del modelo:

Configuración	Disponibilidad de unidades	Modelo			
		0 a MT	MT a CEN	CEN a MT	MT a 0
1	1 unidad a Gas	Bloques fijos	Límite de velocidad de toma de carga	Límite de velocidad de descarga	Bloques fijos
2	2 unidades a Gas	Bloques fijos	Límite de velocidad de toma de carga	Límite de velocidad de descarga	Bloques fijos
3	1 unidad a Gas y 1 a vapor	Bloques fijos	Límite de velocidad de toma de carga	Límite de velocidad de descarga	Bloques fijos
4	2 unidades a Gas y 1 a vapor	Bloques fijos	Límite de velocidad de toma de carga	Límite de velocidad de descarga	Bloques fijos

- Para cada modelo se establecerán los correspondientes valores de UR y DR, según la configuración de la planta.

- Igualmente, de acuerdo con la configuración de la planta, se establecerán los diferentes Mínimos técnicos a considerar.

---

### **MODELO DE RAMPAS DE TEBSA**

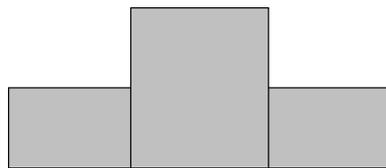
Para el despacho y redespacho económico de la planta TEBSA se utilizará un modelo operativo, cuya actualización es responsabilidad del agente generador que represente la planta ante el ASIC, con la aceptación de XM, después de realizarle pruebas al software, sin necesidad de la expedición de un Acuerdo por parte del Consejo Nacional de Operación.

---

### ANEXO 3

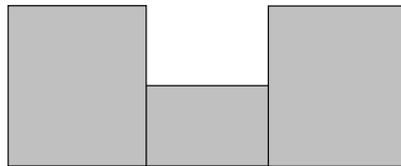
## EJEMPLOS GRÁFICOS DE DESPACHOS ALTERNATIVOS

### Tipos de Despachos Alternativos



Aumento-Disminución

≠DISPON.



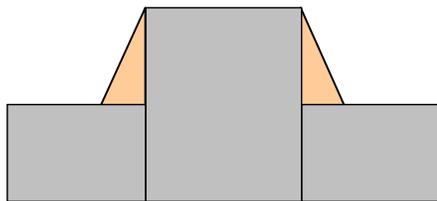
Disminución-Aumento

A

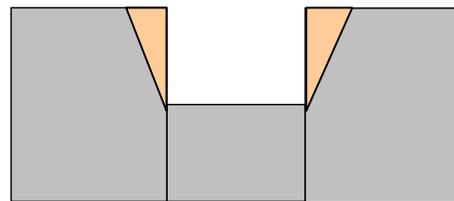
≠ MT

continuación se presentan despachos con aumento-disminución y disminución-aumento los cuales NO SON Despachos Alternativos.

### Despachos **NO** Alternativos



DISPON.



MT

Los anteriores no son Despachos Alternativos, ya que para el cumplimiento del despacho en el segundo período, el cual es el MT o la disponibilidad declarada, según el caso, se tuvieron que aplicar los valores UR y/o DR en el primer y/o tercer período haciendo factible dicho despacho.

---

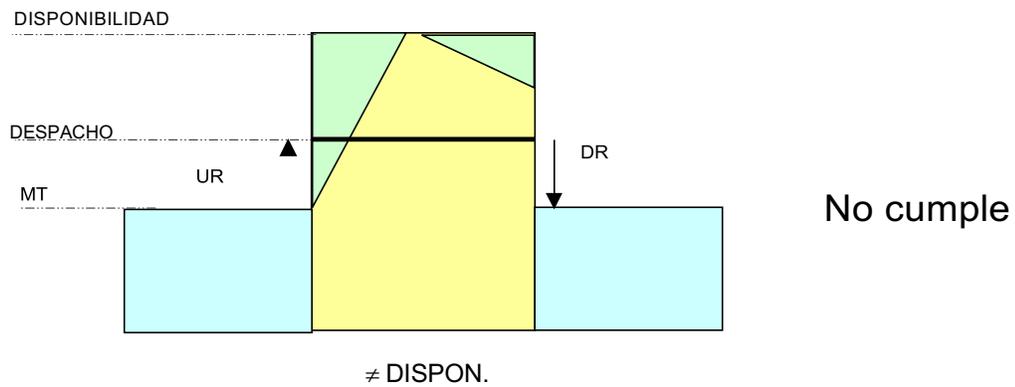
## APLICACIÓN DE LOS VALORES UR' Y DR'

Los valores UR' y DR' se aplicarán en el despacho y redespacho cuando se presenten despachos alternativos.

### Ejemplos

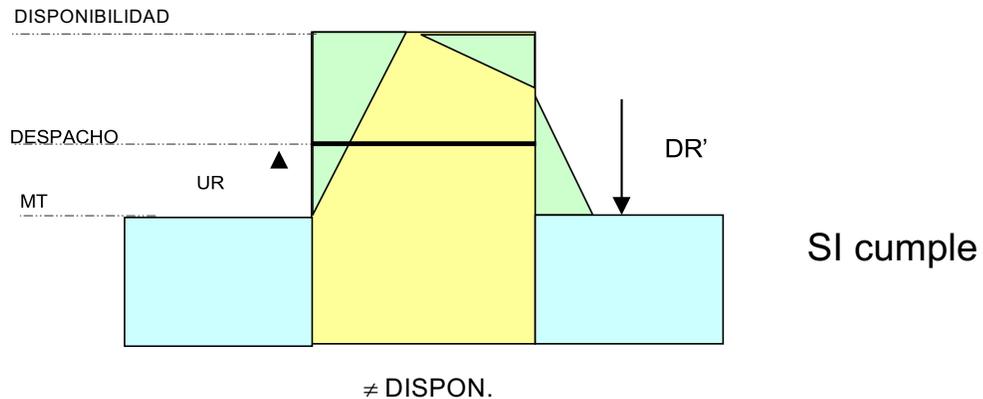
#### Aumento - Disminución

Utilizando el máximo UR para pasar del primer período al segundo, se puede obtener una generación (en energía) menor que la potencia final del período. Con este valor de generación del segundo período, es posible obtener para el tercero una generación factible con el máximo DR lo cual puede no ser cierto al considerar el valor de potencia final.



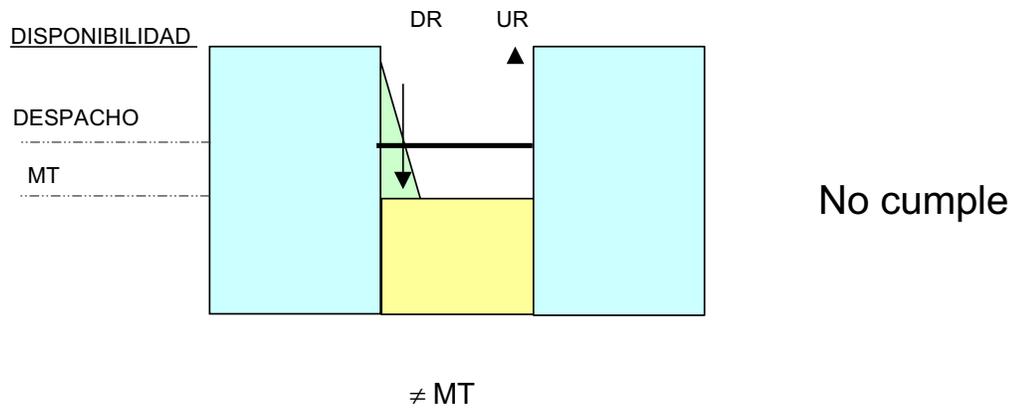
#### Aplicación del DR'

Para solucionar el problema anterior se aplicaría el DR' para pasar del segundo al tercer período.



**Disminución - Aumento**

Utilizando el máximo DR para pasar del primer período al segundo, se obtiene una generación mayor al mínimo técnico del recurso. Con este valor de generación del segundo período, es posible obtener para el tercero una generación factible con el máximo UR, pero si al final del segundo período el recurso se encuentra en su mínimo técnico no le será factible cumplir la generación del tercero considerando el máximo UR.



**Aplicación del UR'**

*Para solucionar el problema anterior se aplicaría el UR' para pasar del segundo al tercer período.*

