

Diagnóstico de la Generación de Residuos Sólidos de Construcción en Obras de Edificación en Altura en la Región Metropolitana

Autores: **Carlos Aguirre N., María Verónica Latorre B.** -Académicos ECCUC-, **Rocío Burboa G., Pablo Montecinos G.** -Licenciados en Construcción-

Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile

emails: caguirm@puc.cl, mlatorrb@puc.cl,
rburboa@puc.cl, pmmontec@puc.cl

Fecha de recepción : 18/08/05

Fecha de aceptación : 31/08/05

Diagnosis of the Solid Residues Generated by High-Rise Building Construction in the Metropolitan Area

Resumen

Este artículo tiene como objetivo establecer un análisis preliminar de la situación de los RESCON (Residuos Sólidos de Construcción) en la edificación en altura para la Región Metropolitana.

En él se muestran los principales resultados de una encuesta realizada en obras iniciadas entre abril de 2003 y abril de 2004, según los permisos de edificación aprobados y recolectados por la Cámara Chilena de la Construcción.

Se concluye que en el caso de las terminaciones solo se puede establecer una correlación entre los volúmenes generados y los indicadores de tamaño y supervisión.

En los casos de obra gruesa y movimiento de tierras, esta correlación no fue significativa.

Palabras clave: RESCON, gestión de residuos sólidos urbanos, producción limpia.

Abstract

This article must like objective establish a preliminary analysis of the situation of the RESCON (solid Remainers of construction) in the construction in height for the Metropolitan Area.

In are to the main results of a survey made in a the works initiated between april of 2003 and april of 2004 according to the permissions of construction approved and collected by the Chilean Camera of the Construction.

One concludes that in the case of the completions single a correlation between the generated volumes and the indicators of size and supervision can be established.

In the cases of Heavy Work and Earthwork, this correlation was not significant.

Key words: RESCON, construction residues management, lean construction.

INTRODUCCIÓN

Una buena gestión de los residuos es importante para aumentar la eficiencia de los materiales, reducir las pérdidas de las constructoras y reducir los costos ambientales que involucran el poco

control que se tiene hoy en día respecto a este tema, evitando que llegue a una situación crítica y educando a las empresas a utilizar políticas limpias.

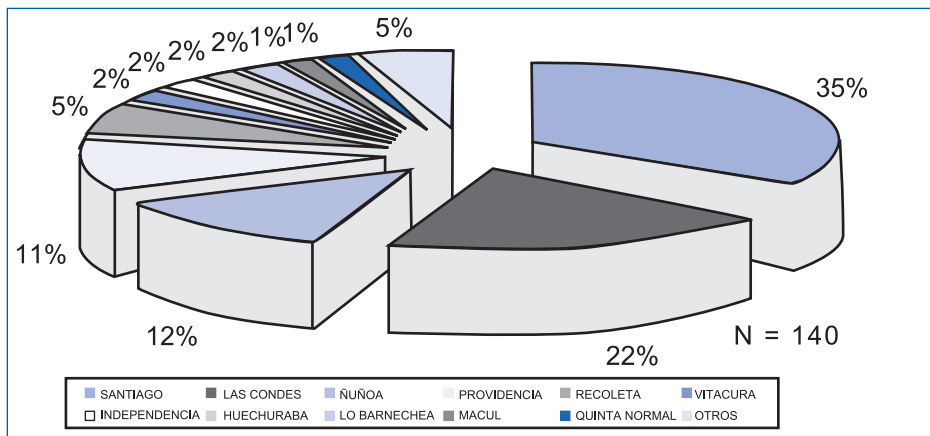
En Chile, la vanguardia en el tema del tratamiento de los RESCON está constitui-

da por la empresa REGEMAC, la que por un error en la edición del texto final fue omitida en el artículo de agosto de 2004. Nuestras más sinceras excusas por tan lamentable olvido, ya que ellos han llevado este tema a la palestra durante los últimos años en Chile, tanto a nivel privado

en la Cámara Chilena de la Construcción, como en los acuerdos de producción limpia que se han firmado. REGEMAC cuenta actualmente con un sistema de contenedores en obra, transporte y disposición final de residuos a lugares autorizados. En las futuras investigaciones esperamos contar con su apoyo y experiencia en el trato de los RESCON en Chile.

Para realizar el diagnóstico de los RESCON se elaborará un instrumento que será aplicado en obra. Este modelo de análisis se abordará planteando hipótesis de trabajo, todas de acuerdo con la literatura leída, cada hipótesis dará origen a distintas preguntas, las cuales cumplen ciertos objetivos específicos. Con los resultados obtenidos pretendemos corroborar o refutar las hipótesis y de esta manera poder llegar a posibles conclusiones y soluciones a la problemática de los RESCON en la Región Metropolitana e idear un plan de gestión de residuos sólidos de construcción.

Gráfico Nº 1:
Distribución de Permisos por Comuna entre Abril 2003 a Abril 2004

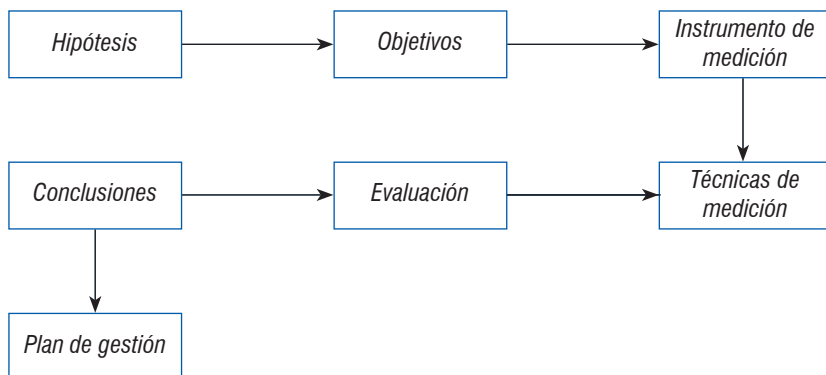


Fuente: Elaboración Propia en Base a los Permisos de Edificación Otorgados

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

1. Si la obra es de mayor magnitud en cuanto al tamaño del predio, superficies y número de pisos, entonces se generaran una mayor cantidad de residuos sólidos de construcción (los residuos que se producen en una obra son directamente proporcionales a la magnitud de esta).
2. A mayor supervisión del personal de una obra, mayor control de los materiales, por lo tanto, menor formación de residuos.
3. Si la empresa subcontratista provee tanto los materiales como la mano de obra entonces se reduce la producción de RESCON.
4. Si la obra cuenta con un sistema de gestión ambiental y de calidad, entonces se reduce la generación de residuos.
5. Si una obra considera la gestión de sus residuos desde el diseño del proyecto, entonces causará una menor cantidad de estos.

Esquema Nº 1:
Planteamiento de la Investigación



El instrumento está dividido en cinco partes: antecedentes generales de la obra, acciones de minimización de residuos utilizados actualmente, generación de residuos, materiales más recurrentes en la producción de residuos y volumen de residuos.

En la aplicación del instrumento se consideró como población los proyectos de edificación en altura con permisos de edificación aprobados por las respectivas municipalidades de la Región Metropoli-

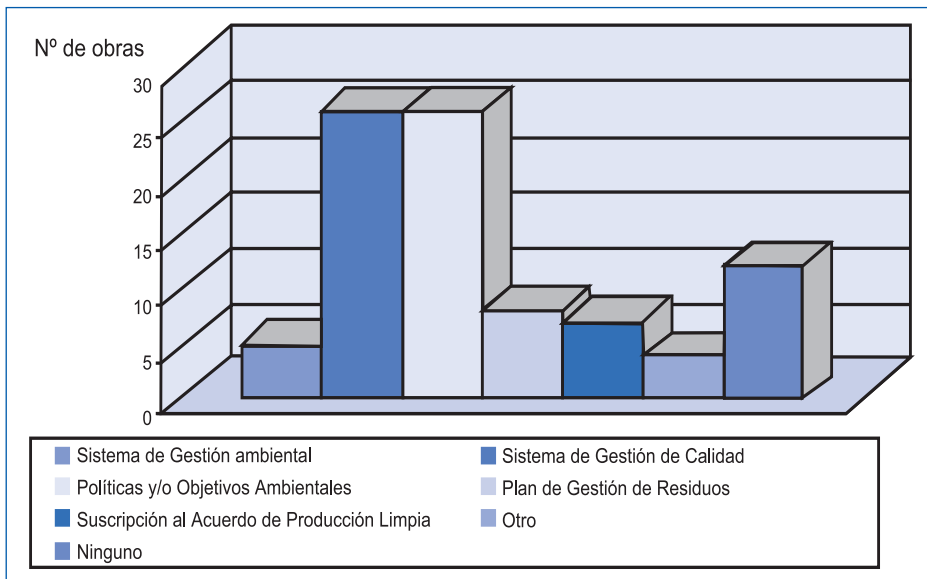
tana, archivados en la Cámara Chilena de la Construcción entre los meses de abril del 2003 a abril del 2004. La información se segmentó en las 18 comunas que se tenía referencia, de las cuales se realizó una muestra no probabilística por conveniencia que abarcó el 88,57% de la población. La población en la cual se centró el estudio se encuentra en el Gráfico N°1, en el que se aprecia que la comuna con más permisos de edificación autorizados es Santiago, seguida por Las Condes, Ñuñoa y Providencia. En ese sentido, se intentó mantener la proporción en la muestra, simulando un muestreo probabilístico por cuotas.

Para la determinación de la muestra con un error de un 5% es necesario realizar al menos 103 encuestas, de las cuales efectivamente se realizaron 124 con lo que se logró disminuir el error a un 3%.

De las 52 encuestas respondidas, las comunas que concentran la mayoría de respuestas son Santiago y Las Condes, con un 40% y un 21%, respectivamente, donde Santiago es notablemente mayor a Las Condes. Esto se debe a que la población se concentra mayormente en estas comunas, siendo en Santiago la mayor. Las obras visitadas presentaron distintos grados de avance, afectando al tipo de residuo generado hasta ese momento, la mayoría de las construcciones se encontraban en etapa de obra gruesa y terminaciones, sin embargo los entrevistados respondían de acuerdo a sus experiencias y no a la etapa actual de sus proyectos¹.

¹ Según el desarrollo de la entrevista.

Gráfico N° 2:
Histograma de Obras Según Tipo de Acción Desarrolladas



Fuente: Elaboración Propia en Base a los Resultados de la Encuesta

Como parte de las acciones empleadas por las empresas para la minimización de los residuos generados se encuentran:

- Sistema de Gestión Ambiental (ISO 14.001)
- Sistema de Gestión de Calidad (ISO 9.001)
- Políticas y objetivos ambientales internos de las empresas
- Plan de gestión de residuos
- Suscripción al Acuerdo de Producción Limpia de la CChC

Como las empresas no tienen la obligación legal de implementar ninguna de estas acciones, es recurrente encontrar proyectos que no efectúan gestión alguna de los residuos. En la muestra obtenida se reflejó una tendencia de las obras a cumplir con el Sistema de Gestión de Calidad y contar con políticas y objetivos ambientales propios, con un 50% cada una de estas acciones (ver Gráfico N°2).

En cuanto al Sistema de Gestión Ambiental, solo un 9,6% lo ha implementado en sus obras, siendo menor en las obras visitadas.

En el caso de la reutilización de residuos, esta tampoco es una práctica obligatoria. Respecto a los residuos generados en el movimiento de tierras es posible reutilizarlos por la empresa a cargo del proyecto, tanto en la obra en desarrollo como en otra, estos generalmente son reutilizados en un porcentaje notoriamente menor que el generado, dado que se utilizan para rellenos, el 65,4% de las obras visitadas reutiliza parte de sus residuos de excavación y solo un 34,6% retira la totalidad.

Por otra parte, los RESCON generados por las actividades de obra gruesa y terminaciones, en general no son reutilizados, siendo una fracción menor la que se recupera y los volúmenes de RESCON reutilizados en estas etapas son muy bajos.

Respecto a la disposición final de los RESCON, el sitio de mayor recurrencia por las obras encuestadas es la recuperación de pozos de áridos. En el caso del reciclaje de este tipo de residuos se puede inferir que son mínimas las obras que lo realizan; por otro lado, se pudo observar que aún existe un alto porcentaje de generadores que no conocen el paradero de sus RESCON.

El presente diagnóstico de la situación actual de los RESCON tiene como principal objetivo el desarrollar un plan de manejo y control de estos, es por ello que las causas de su generación son un punto importante para este estudio. Los RESCON se pueden producir a causa del diseño, manejo de materiales y por ejecución de las obras.

La generación a causa del diseño puede deberse por errores en los antecedentes del proyecto, cambios de diseño y especificaciones de materiales no aptos. La generación a causa del manejo de materiales puede ser causada por transporte inadecuado dentro de la obra, descarga y/o acopio inapropiado y por un mal control de los materiales. Por último, la generación de RESCON producida por la ejecución del proyecto se puede deber a errores en la secuencia de los procesos constructivos, errores en la maquinaria y equipos utilizados, accidentes y tolerancia a errores antes de reparar o demoler. Se puede concluir que aunque ninguna de estas causas es significativa dentro del volumen total de residuos, la más improbable es la especificación de materiales no aptos, dado que la construcción es una industria en base

² Se consideró que el camión tipo tiene un volumen aproximado de 7m³.

a experiencias constructivas anteriores, por lo tanto, los elementos utilizados se conocen bien y se sabe cuáles son los más adecuados. Por otro lado, las causas más frecuentes son el deficiente control de materiales, la descarga y/o acopio inadecuado y los cambios de diseño, que aunque no representan un gran volumen de residuos pueden ser minimizados.

Otro factor importante para el diagnóstico de la situación actual de los residuos de construcción son los materiales que se generan, porque en el plan que se propondrá se hará hincapié en los más críticos. Los materiales considerados como improbables en su generación que obtuvieron mayor porcentaje son el vidrio y el aluminio, esto es debido a que ambos materiales vienen dimensionados y listos para ser instalados, por consiguiente, generan menos residuos. Como poco frecuentes se tienen los pavimentos, alfombras, poliestireno expandido, fibra de vidrio, lana mineral, despuntes de P.V.C. y cobre, polietileno y hojalatería. Como frecuentes se encuentran el hormigón, enchape de albañilería, yeso, yeso cartón, tierra, residuos de embalaje, madera, tinetas plásticas, mortero y despuntes de enfierradura. Como generación continua de residuos no se obtuvo para ningún material un porcentaje mayor, sin embargo, la madera, residuo del movimiento de tierras, tinetas plásticas y metálicas, despuntes de enfierradura y residuos de embalaje son los materiales que más destacan. La madera, el hormigón y el yeso, son los materiales más recurrentes, con un 50%, 48%, 44%, respectivamente.

Para determinar el volumen de residuos generados por las obras de edificación

en altura en la Región Metropolitana, se considerará como volumen generado aquel que representa la capacidad del contenedor multiplicado por la cantidad que este es retirado al mes; en el caso de aquellas obras que no utilizan contenedores se consideró como volumen mensual de residuos a la cantidad de camiones que retiran estos durante el periodo por la capacidad volumétrica del camión tipo utilizado². Un 73% de las obras cuenta con contenedores para almacenar los residuos generados, y un 4% tiene considerado implementarlos próximamente en sus obras. Con relación al número de retiro de escombros de las obras que no cuentan con contenedores para su almacenamiento, en promedio estas sacan 12 camiones mensuales, esto depende de la etapa en que se encuentre la obra.

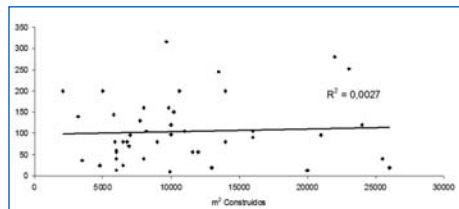
ANÁLISIS DE CORRELACIONES

Para determinar si las hipótesis del estudio son válidas resulta necesario correlacionar las variables medidas con el instrumento. Para ello se consideró el volumen de residuos generados mensualmente como la unidad de comparación fija, con la cual se midió su correlación con las otras variables expresadas en las distintas hipótesis. Dado que el volumen de residuos generados en obra fue entregado por los encuestados, según la etapa en que se encontraba la obra en el momento de la encuesta, es importante separarlas en el análisis, para evitar confusión en los datos.

Para poder realizar el análisis correlacional se considerarán las variables que influyen en cada hipótesis de forma separada. Considerando la hipótesis N^o

Gráfico N° 3:

Superficie Construida y Producción Declarada de RESCON

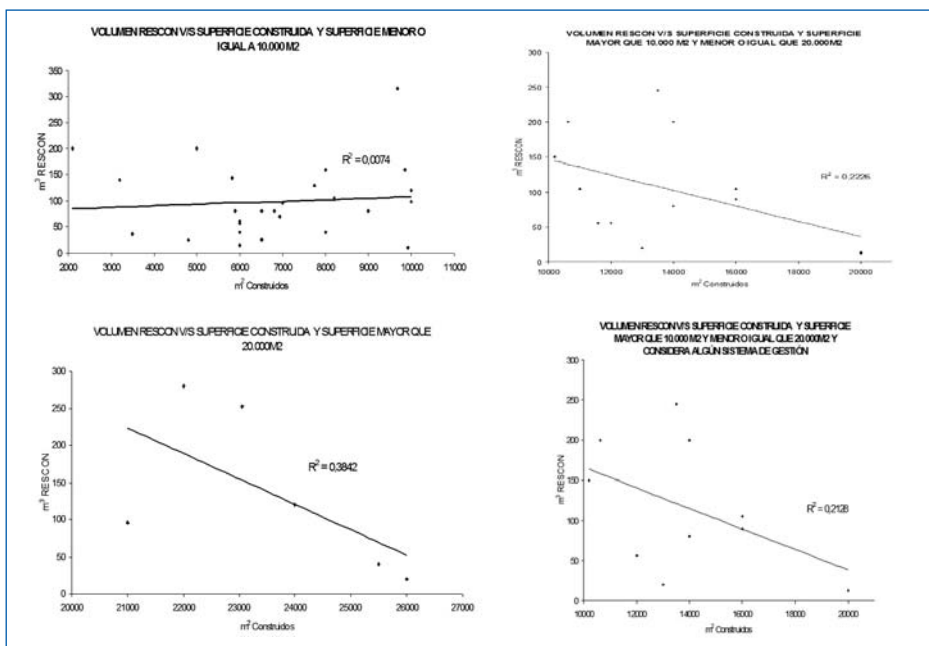


Fuente: Elaboración Propia en Base a Encuesta

1: “Si la obra es de mayor magnitud en cuanto a tamaño del predio, superficies y números de pisos, entonces se generará una mayor cantidad de residuos sólidos de construcción”, es decir, los residuos que se generan en una obra son directamente proporcionales a la magnitud de esta. Existen diferencias significativas en la producción de RESCON según los tamaños de obra (m² construidos); al analizar estas variables con la totalidad de los datos, no existe correlación al ser cercano a cero, $R^2 = 0,0027$. Sin embargo, al segmentar por rangos de tamaño de obra se observa una cierta tendencia a correlacionar cuando se consideran superficies construidas mayores a los 10.000 m² y menores o iguales a 20.000 m² que cuentan con algún sistema de gestión, no obstante los valores obtenidos muestran un bajo nivel de correlación.

Gráfico N° 4:

Superficie Construida y Producción Declarada de RESCON Segmentada Según los Datos



Fuente: Elaboración Propia en Base a Encuesta

Considerando la hipótesis N° 2: “A mayor supervisión del personal de una obra, mayor control de los materiales, por lo tanto, menor formación de residuos”, se observa que no existe una correlación entre las variable volumen de RESCON y supervisión de los trabajadores ($R^2 = 0,0743$).

Cuando se analiza esta hipótesis, segmentándola según número de trabajadores/

supervisores en menores y mayores a 25, se observa que las correlaciones son similares del orden de 0,045 y tienden a crecer cuando se implementan sistemas de gestión, aunque igual sigue no existiendo correlación.

Ante esto, podemos concluir que la hipótesis sería rechazada, quedando solamente establecer mediante una prueba T

Tabla N° 1:

Prueba T de Litros Producidos y Metros Cuadrados Construidos

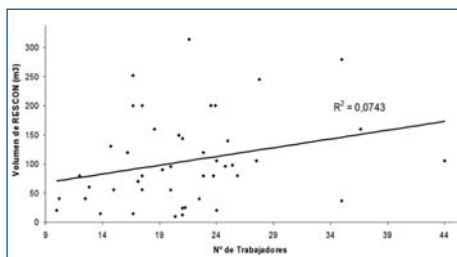
Diferencias relacionadas	Media	Desviación típica	Error típico de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Sup Construir - Litros/m²	11322.7199	7566.01	1080.9	9149.50	13495.93	10.476	48	.000
Sup Construir - Litros	-100132.04	104335.68	14905.1	-130100.7	-70163.33	-6.718	48	.000
Sup Construir - Camiones al mes	11324.48	7558.57	1079.7	9153.41	13495.56	10.488	48	.000
Sup Construir - m³ de residuo mes	11225.87	7558.06	1079.7	9054.94	13396.80	10.397	48	.000

para muestras pareadas si ambos ítemes, la producción de RESCON, medida en todas las formas que nos puede entregar la encuesta, y los metros cuadrados construidos, están representando el mismo fenómeno. De ese análisis podemos inferir que la hipótesis nula se acepta, con lo cual no es posible asegurar que ambas medidas responden al mismo fenómeno.

Al analizar las correlaciones para la hipótesis N° 3: "Si la empresa subcontratista provee tanto los materiales como la mano de obra, entonces se reduce la producción de RESCON", se obtiene que no existe correlación entre las variables, ya que presentan valores de R² cercanos a cero.

Gráfico N° 5:

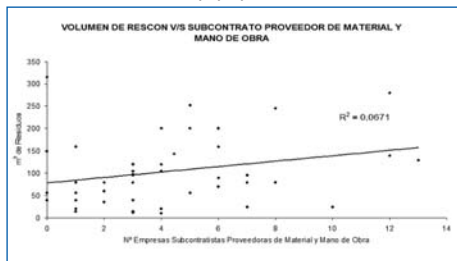
Supervisión de la Obra y Producción Declarada de RESCON



Fuente: Elaboración Propia en Base a Encuesta

Gráfico N° 8:

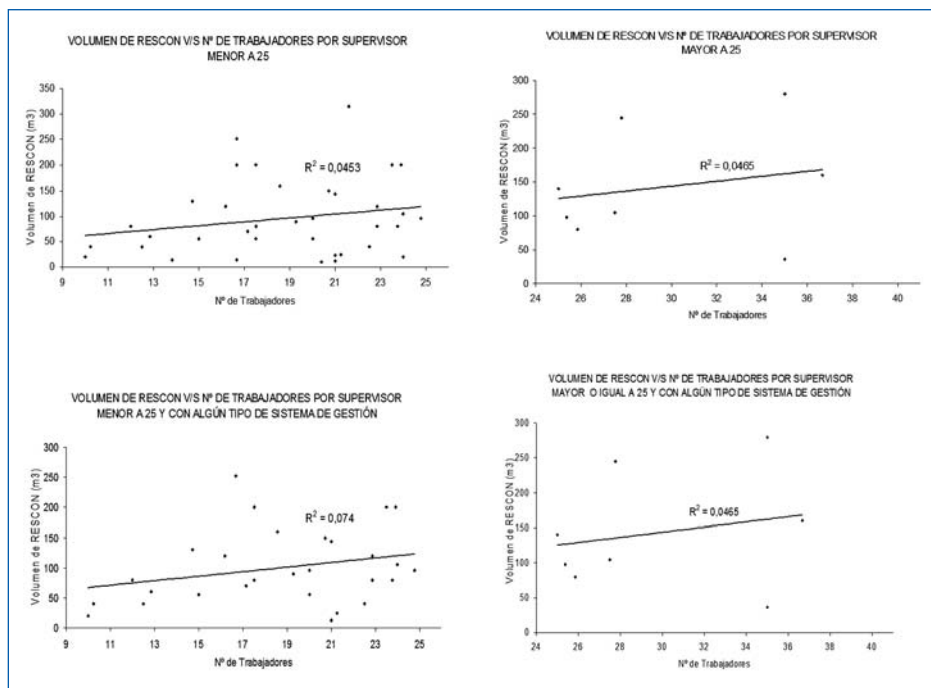
Subcontrato de Proveedor de Material y Producción Declarada de RESCON



Fuente: Elaboración Propia en Base a Encuesta

Gráfico N° 6:

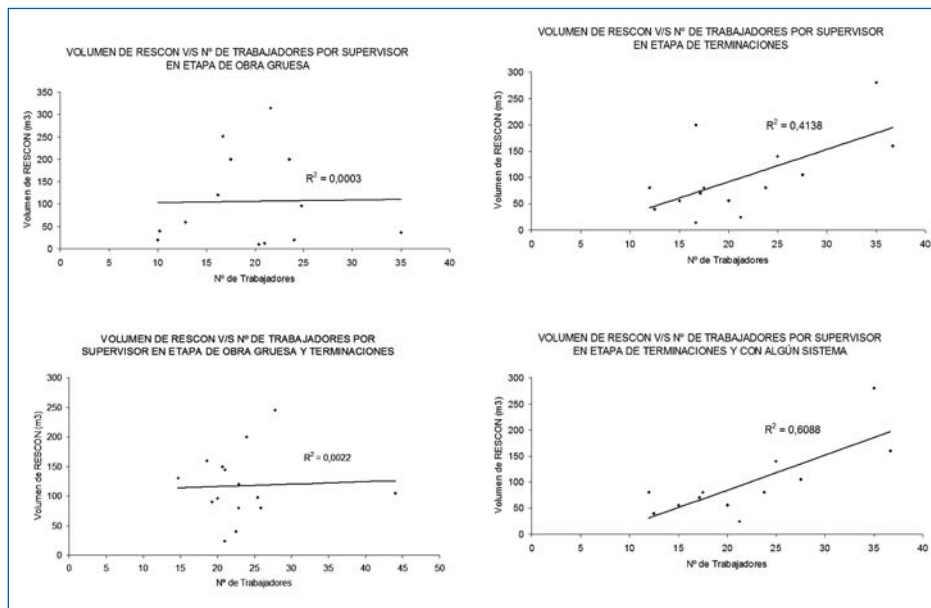
Supervisión de la Obra y Producción Declarada de RESCON Segmentada Según los Datos



Fuente: Elaboración Propia en Base a Encuesta

Gráfico N° 7:

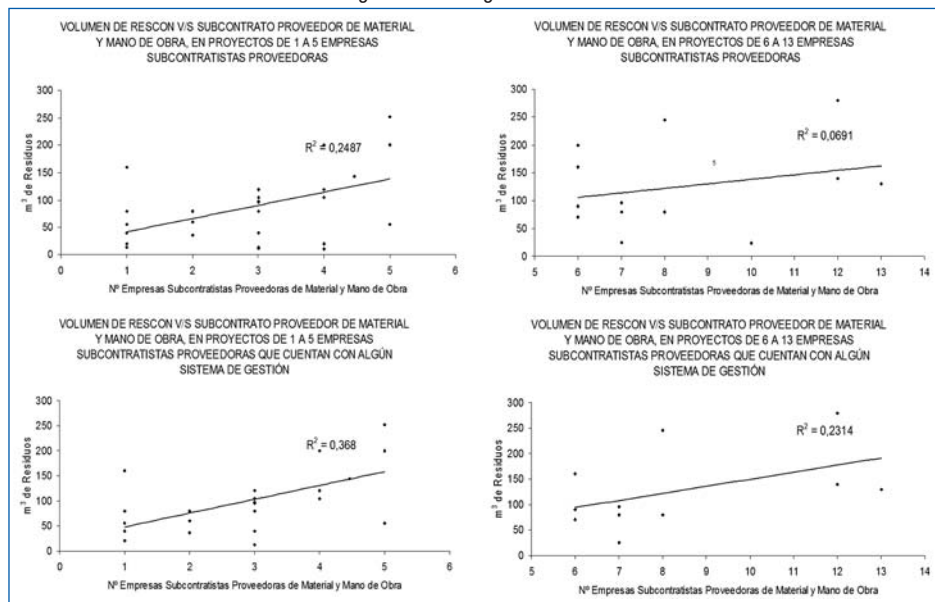
Supervisión de la Obra y Producción Declarada de RESCON Segmentada Según los Datos



Fuente: Elaboración Propia en Base a Encuesta

Gráfico Nº 9:

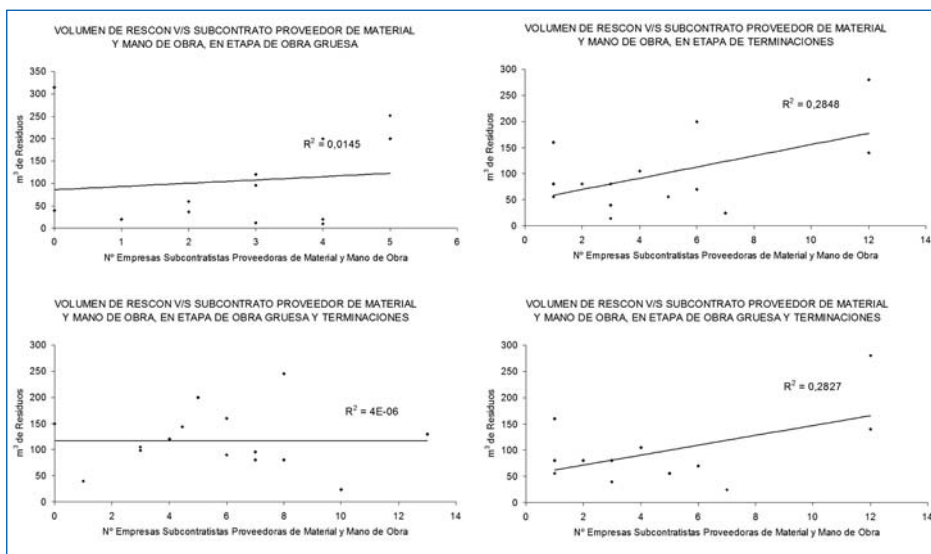
Subcontrato de Proveedor de Material y Producción Declarada de RESCON Segmentada Según los Datos



Fuente: Elaboración Propia en Base a Encuesta

Gráfico Nº 10:

Subcontrato de Proveedor de Material y Producción Declarada de RESCON Segmentada Según los Datos



Fuente: Elaboración Propia en Base a Encuesta

CONCLUSIONES

Como conclusión del análisis correlacional se puede decir que en la totalidad de la muestra no existe ningún tipo de correlación. El que las correlaciones sean bajas (R^2 menores que 0,6), significa que las variables analizadas no están directamente relacionadas, y por lo tanto las hipótesis no se cumplen. No existe ningún tipo de correlación en etapa de obra gruesa, esto se puede atribuir a que existe un nivel basal de residuos, el cual no depende de los m² construidos. Al contrario, en etapa de terminaciones sí existe una tendencia a correlacionar, dado que en este caso existe una relación entre los RESCON que se generan con los m² construidos, este grado de correlación observado no se puede utilizar para concluir que las hipótesis son válidas para todas las obras encuestadas, debido al bajo número de datos en cada análisis. El bajo grado de correlación obtenido se puede atribuir a que en la generación de residuos están involucrados un alto número de factores, los cuales idealmente se debieran analizar en conjunto. El bajo número de datos con que se realizó el estudio impide la realización de este análisis, ya que al incorporar todas las variables resultaban datos insuficientes para validar las hipótesis.

Con la finalidad de entender los resultados obtenidos, se plantea el siguiente modelo conceptual de desarrollo de una obra de construcción:

Podemos indicar que el gasto de una obra de construcción es función de la tasa de pérdida (R_s) y del gasto propio de la obra, obteniendo:

$$Gt = Gn + Gr$$

donde:

- Gt es el gasto total
- Gr es el gasto generado por los residuos
- Gn es el gasto natural

$$Gt = \sum f_i(G_i) \Rightarrow f_i(G_i) = Gn_i + \underbrace{Rs_i \times Gn_i}_{Gr}$$

donde Rs es la tasa de pérdida.

Vectorialmente, los valores de la tasa de pérdida son diferentes según los insumos a utilizar, por lo tanto, guardará relación con la cuantificación de cada uno de estos; esto se ve representado por su cubicación.

Gr dependerá entonces de (R_i, Q_i, Gn), donde q es la cuantificación de los insumos.

Si observamos el desarrollo de Gn a lo largo del tiempo, se puede indicar, según la curva "S" del Esquema N° 2, que se distinguen tres rangos de comportamiento, donde para la hipótesis N° 1 al tener tasas de pérdidas similares para los distintos insumos involucrados, al aumentar Q aumentará Gt, por lo tanto, un proyecto con mayores cantidades de obra generará mayor volumen de residuos en la totalidad del proceso siendo el rango II la etapa en que se debiera producir la mayoría de estos.

Los residuos se debieran comportar según la siguiente expresión:

$$Rs = \sum R_i \times Q_i$$

$$Gt = \sum Gn_i + Rs_i \times Gn_i$$

$$h(Rs) = [R_1 \dots R_n] \begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix}$$

entonces:

$$Gr = \sum Rs_i \times Gn_i \Rightarrow Rs = h(R_i, Q_i) = [R_1 \dots R_n] \begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix}$$

La función objetivo es minimizar los residuos (Rt), los cuales dependen de la tasa de pérdida asociada a cada material (R_i) y las cuantificaciones de estos (Q_i), dado que Q_i no es minimizable, se obtiene que el factor en el cual debe existir el enfoque es la tasa de pérdida.

El vector R_i corresponde, como fue señalado anteriormente, a las tasas de pérdida por insumo, lo cual dependerá no solo de las condiciones propias de este, sino que además de las condiciones de manejo en obra y coherencia entre diseño y construcción. Por tanto, el vector se puede expresar:

$$\overline{R}_i = Rj_i + Rsup_i + Rdis_i$$

donde

Rj_i es la tasa de pérdida propia del material

Rsup_i es la tasa de pérdida asociada a la deficiente supervisión en obra

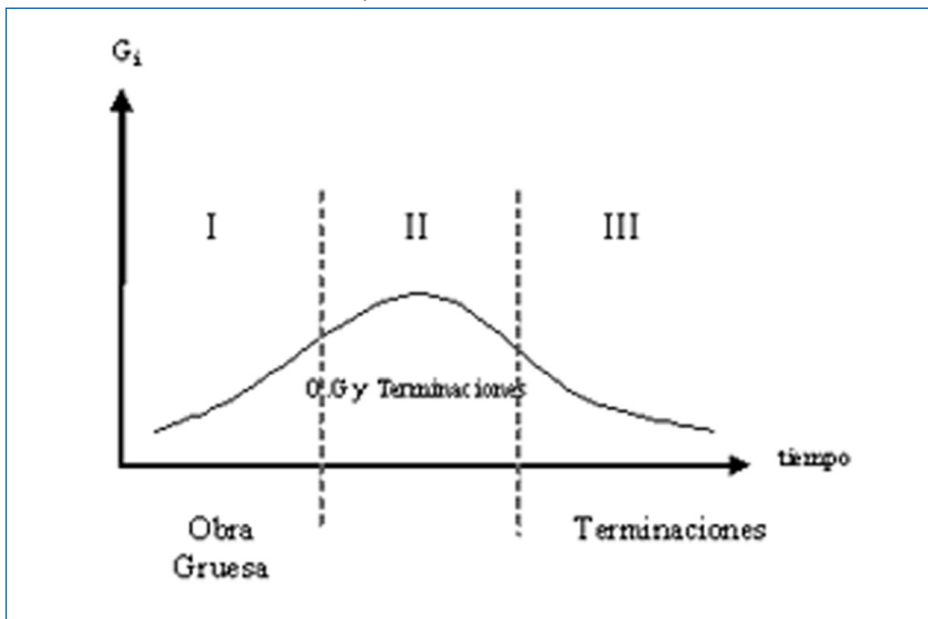
Rdis_i es la tasa de pérdida asociada a la incoherencia diseño-construcción

Con lo cual se obtiene que para minimizar R_i es necesario minimizar las tres tasas de pérdida que la componen, donde la minimización de la tasa propia del insumo es de alta complejidad, mientras que las tasas asociadas a la supervisión y diseño son factibles de realizar.

En conclusión, para la realización del plan de manejo y control de residuos

Esquema N° 2:

Análisis de Fases para Determinar la Cantidad de RESCON



es importante poner énfasis tanto en el diseño como en la supervisión, además, se enfocará en todos aquellos puntos que los entrevistados consideraron de probabilidad continua y frecuente, por ser estos los puntos críticos. Sin embargo, también serán incluidos otros factores relevantes.

Para la implementación del sistema de manejo y control de los RESCON se considerarán las distintas etapas del ciclo de vida de un proyecto, donde en cada una de ellas se vigilará y controlará mediante procedimientos para, de esta forma, tener un proceso de retroalimentación entre las distintas etapas y proyectos futuros. En este sistema se debe tener en consideración que su función objetivo es la minimización de los residuos, para ello este plan debe ser de carácter flexible para adaptarse así a las distintas empresas y proyectos que lo implementarán.

Con el fin de poder cumplir con el objetivo general del plan, se debe separar claramente las responsabilidades de los distintos agentes involucrados en el ciclo de vida de los residuos, para esto el sistema deberá contar con programas de capacitación para el personal de las empresas que los lleven a cabo.

BIBLIOGRAFÍA

1. CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. "Acuerdo de Producción Limpia. Acuerdo", noviembre 1998.
2. CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. "Macroeconomía y Construcción. Informe", septiembre 2003.
3. COMISIÓN NACIONAL DE ÁRIDOS, Corporación de Desarrollo Tecnológico, Industria del Árido en Chile, "Sistematización de Antecedentes Técnicos y Ambientales", Tomo I, Santiago, diciembre 2001.
4. CONAMA Región Metropolitana. "Enfoques Metodológicos para la Valorización Económica de Impactos Ambientales", Documento de Trabajo N° 8, Serie Economía Ambiental, 1998.
5. CONAMA. "Antecedentes para la Política Nacional sobre Gestión Integral de Residuos. Estudio", noviembre 2000.
6. EWI-CONAMA Región Metropolitana. "Proposición de un Plan para la Regulación de la Disposición Final de Residuos Provenientes de las Actividades de la Construcción en la Región Metropolitana. Informe final", octubre 1994.
7. GOBIERNO DE CHILE, Servicio de Salud del Ambiente Región Metropolitana. Subdepartamento Entorno Saludable, Unidad de Residuos Sólidos. "Requisitos para el Pronunciamiento Sobre Proyectos de Disposición de Residuos Sólidos Inertes de la Construcción".
8. GOBIERNO DE CHILE, Ministerio de Vivienda y Urbanismo. "Proyecto de Modificación Plan Regulador Metropolitano de Santiago Extracción y Procesamiento de Áridos", Memoria Explicativa, noviembre 2003.
9. González Romero, Francisco León. "El Problema de los Residuos Sólidos Generados por las Actividades de la Construcción en la Región Metropolitana, Proposición de Manejo Integral", Tesis (Ingeniero Civil), Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 1996. 173 pp.
10. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. "Anuario de Edificación", 2001.
11. MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN Y COOPERACIÓN. "Políticas Públicas en el Manejo de Residuos Sólidos. Estudio", 1999.
12. Serie NCH-ISO 14000. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 1997.
13. SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA. Revista de Descontaminación Industrial, Recursos Energéticos y Ecología, 10 (55): 34-35, marzo – abril 2002.